



TUGAS AKHIR - EE 184801

**PENENTUAN LOKASI DAN KAPASITAS DG PADA
JARINGAN DISTRIBUSI AKTIF MEMPERTIMBANGKAN
PERUBAHAN KONFIGURASI JARINGAN BERBASIS GIS
MENGUNAKAN METODE ANALITIK**

Maulia Hutabarat
NRP 07111440000164

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - EE 184801

**DISTRIBUTED GENERATION LOCATING AND SIZING IN
ACTIVE DISTRIBUTION NETWORK CONSIDERING
CHANGE TO NETWORK CONFIGURATION BASED ON GIS
USING ANALYTICAL METHOD**

Maulia Hutabarat
NRP 07111440000164

Supervisor
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan tugas akhir saya dengan judul “**Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG pada Jaringan Distribusi Aktif Mempertimbangkan Perubahan Konfigurasi Jaringan Berbasis GIS Menggunakan Metode Analitik**” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 13 Januari 2019

Maulia Hutabarat
NRP. 07111440000164

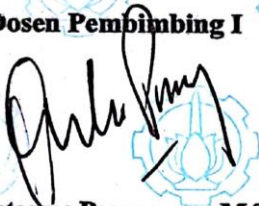
**PENENTUAN LOKASI DAN KAPASITAS DG PADA
JARINGAN DISTRIBUSI AKTIF
MEMPERTIMBANGKAN PERUBAHAN
KONFIGURASI JARINGAN BERBASIS GIS
MENGUNAKAN METODE ANALITIK**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagai Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

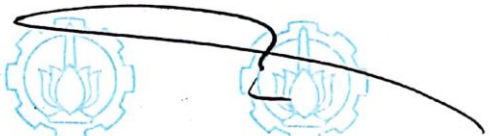
Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



**Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D
NIP. 194907151974121001**

Dosen Pembimbing II



**Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.
NIP. 195512071980031004**



PENENTUAN LOKASI DAN KAPASITAS DG PADA JARINGAN DISTRIBUSI AKTIF MEMPERTIMBANGKAN PERUBAHAN KONFIGURASI JARINGAN BERBASIS GIS MENGGUNAKAN METODE ANALITIK

Nama : Maulia Hutabarat

NRP : 07111440000164

Pembimbing I : Prof. Ir. Ontonseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.

Pembimbing II : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRAK

Pada jaringan distribusi yang umumnya berbentuk radial, wajar terjadi rugi-rugi sistem mengingat jarak jaringan yang belum tentu dekat dari jaringan transmisi dan juga penempatan beban yang terkadang tidak teratur. Penggunaan *Distributed Generation* (DG) pada sistem dapat menurunkan rugi-rugi daya sistem dikarenakan lokasi DG yang dekat dengan beban. Akan tetapi, lokasi dan kapasitas DG itu sendiri mempengaruhi efektivitasnya dalam menurunkan rugi-rugi daya terlebih jika terjadi perubahan konfigurasi jaringan. Metode yang digunakan pada tugas akhir ini adalah metode analitik yang menentukan kapasitas DG yang memberikan *benefit* maksimum pada suatu bus dibandingkan bus yang lainnya. Metode tersebut diaplikasikan pada sistem distribusi Surabaya. Hasil simulasi akan ditampilkan pada perangkat lunak *Geographic Information System* (GIS) sehingga didapatkan tampilan geografis dari lokasi DG.

Kata kunci: *Distributed Generation (DG), Perubahan Konfigurasi Jaringan, Geographic Information System (GIS)*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**DISTRIBUTED GENERATION LOCATING AND SIZING IN
ACTIVE DISTRIBUTION NETWORK CONSIDERING CHANGE
OF NETWORK CONFIGURATION BASED ON GIS USING
ANALYTICAL METHOD**

Name : Maulia Hutabarat

NRP : 07111440000164

Supervisor I : Prof. Ir. Ontonseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.

Supervisor II : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRACT

Power loss in distribution network in radial configuration is commonly happen which is caused by the distance of the distribution network from the power source transmission network and also by loads. Distributed Generation (DG) become a solution for that problem to reduce the power loss. But, the location and size of the DG may be ineffective so for future planning it become an important thing to locating and sizing the DG to achieve optimum result. Also, modification of network configuration could affect the effectiveness of the DG so it must be considered for locating and sizing of DG. The method used in this work is analytical method and applied on Surabaya distribution network. Furthermore, the use of Geographic Information System (GIS) could be a tool to help learn geographic condition on DG location.

Keyword: *Distributed Generation (DG), Distribution Network reconfiguration, Geographic Information System (GIS)*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah yang Maha Esa atas segala tuntunan-Nya dan kasihnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul **“Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG pada Jaringan Distribusi Aktif Mempertimbangkan Perubahan Konfigurasi Jaringan Berbasis GIS Menggunakan Metode Analitik”**.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan yang ada guna menyelesaikan pendidikan tahap Sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus atas limpahan rahmat dan karunia-Nya serta tuntunannya.
2. Bapak Pandi MS H, Ibu Kartini S, dan keluarga dan saudara yang telah mendukung dan memberikan motivasi kepada penulis
3. Bapak Prof. Ir. Ontonseno Penangsang, M.Sc., Ph.D. dan Dr. Ir. Soedibyo, M.MT. selaku dosen pembimbing yang telah membantu dan memberikan saran selama pelaksanaan tugas akhir ini.
4. Ibu Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT. Yang telah membantu dalam mengerjakan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen dan karyawan yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuannya selama proses perkuliahan di Teknik Elektro ITS.
6. Panggah Prabawa, Ahmad Febri F, Azka Quamila, Sabila Bagus P, Radian P, Fericko W, Richard Andi KT, dll. yang telah memberikan masukan dan referensi kepada penulis serta ilmu yang dibagikan dalam mengerjakan tugas akhir.
7. Teman-teman PMK yang telah memberikan kesempatan dalam mengembangkan diri selama perkuliahan.
8. Aldo C, Bimo CK, Joel J, Sondra L, Y. Wisnu, yang telah memberi kisah-kisah yang tidak didapatkan di tempat lain.
9. Seluruh keluarga besar e-54 atas kisah-kisah yang telah diukir selama masa 4 tahun perkuliahan.
10. Teman-teman kos BME yang telah membantu penulis dalam menjalani kehidupan sebagai anak kos

11. Thoriq A, Irfan Reza W, Fido A yang telah memberikan kisah dan kenangan Bersama selama empat tahun ini.
12. Teman-teman ‘bebek’ yang telah memberikan kenangan selama perkuliahan serta memberi semangat selama pengerjaan tugas akhir ini.
13. Pihak-pihak lain yang belum bisa penulis sebutkan satu per satu yang ikut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Akhir kata, selamat membaca bagi pembaca tugas akhir ini kiranya dapat bermanfaat di kemudian hari. Penulis meminta maaf jika terdapat kekurangan dalam tugas akhir ini.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	I
ABSTRACT	III
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VII
DAFTAR GAMBAR.....	IX
DAFTAR TABEL	XI
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir	2
1.4 Batasan Tugas Akhir.....	2
1.5 Metodologi Tugas Akhir.....	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	4
BAB II SISTEM DISTRIBUSI RADIAL, ANALISIS ALIRAN DAYA, PERUBAHAN KONFIGURASI DAN DISTRIBUTED GENERATION.....	5
2.1 Sistem Distribusi Radial	5
2.2 Analisis Aliran Daya.....	5
2.2.1 Pengertian.....	5
2.2.2 Newton Raphson	7
2.2.3 Rugi Jaringan.....	10
2.3 Metode Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG	11
2.3.1 Net Benefit	13
2.4 Perubahan Konfigurasi Jaringan	14
2.5 Distributed Generation (DG)	16
2.6 Geographic Information System(GIS).....	16
BAB III PENENTUAN LOKASI DAN KAPASITAS DG MEMPERTIMBANGKAN PERUBAHAN KONFIGURASI... 	19
3.1 Diagram Alir Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG.....	19
3.2 Penjelasan Diagram Alir.....	21
3.2.1 Input Data	21
3.2.2 Analisis Aliran Daya	21
3.2.3 Perubahan Konfigurasi dengan <i>Branch Exchange</i>	21

3.2.4 Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG	23
3.2.5 Lokasi Geografis pada GIS	25
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS.....	27
4.1 Kondisi Awal Penyulang Kota Surabaya	27
4.1.1 Tegangan.....	27
4.1.2 Rugi Daya Aktif Sistem	30
4.2 Perubahan Konfigurasi Jaringan.....	34
4.3 Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG.....	35
BAB V PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	47
LAMPIRAN	49
Lampiran 1 Data Beban.....	49
Lampiran 2 Data Saluran.....	52
Lampiran 3 Kondisi Sistem (Konfigurasi A) Tanpa DG	55
Lampiran 4 Kondisi Sistem (Konfigurasi A) dengan DG	59
Lampiran 5 SLD Sistem Distribusi Surabaya.....	63
Lampiran 6 Konfigurasi A	64
Lampiran 7 Konfigurasi B	65
Lampiran 8 Konfigurasi C.....	66
Lampiran 9 Konfigurasi D	67
Lampiran 10 Konfigurasi E.....	68
RIWAYAT HIDUP PENULIS	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Radial.....	6
Gambar 2.2 Bus STL Tipikal	7
Gambar 2.3 Aliran Daya.....	7
Gambar 2.4 Saluran Sistem	10
Gambar 2.5 Sistem Distribusi Tipikal dengan DG	11
Gambar 2.6 Jaringan Distribusi dengan Switch.....	15
Gambar 2.7 Jaringan Distribusi Sederhana dengan Switch	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi.....	20
Gambar 3.2 Branch Exchange	22
Gambar 3.3 Penentuan Kapasitas dan Lokasi DG	24
Gambar 4.1 Perbandingan Tegangan Sebelum dan Sesudah Perubahan Konfigurasi.....	35
Gambar 4.2 Perbandingan Tegangan Tanpa dan dengan Perubahan Konfigurasi	37
Gambar 4.3 Perbandingan Tegangan Kondisi Awal, Perubahan Konfigurasi dan DG.....	39
Gambar 4.4 Lokasi geografis pemasangan DG pertama	40
Gambar 4.5 Lokasi geografis pemasangan DG kedua.....	40
Gambar 4.6 Lokasi Switch TS3.....	41
Gambar 4.7 Lokasi Switch TS1.....	41
Gambar 4.8 Lokasi Switch TS4.....	42
Gambar 4.9 Lokasi Switch SS2.....	42
Gambar 4.10 Lokasi Switch SS7	43
Gambar 4.11 Lokasi Switch SS8.....	43

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe DG berdasarkan kapasitasnya	17
Tabel 4.1 Data Tegangan Kondisi Awal.....	27
Tabel 4.2 Rugi-rugi Daya Aktif.....	31
Tabel 4.3 Rugi-rugi Daya Keadaan Awal dan Perubahan Konfigurasi	35
Tabel 4.4 Lokasi dan Kapasitas DG dengan Perubahan Konfigurasi ...	35
Tabel 4.5 Lokasi dan Kapasitas DG Tanpa Perubahan Konfigurasi	36
Tabel 4.6 Total Rugi-Rugi Daya Aktif Setelah Pemasangan DG.....	36
Tabel 4.7 DG dengan Konfigurasi Lain	38
Tabel 4.8 Perbandingan Rugi-Rugi Daya Aktif dengan Konfigurasi Lain	39

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan dalam pendistribusian tenaga listrik yaitu dalam masalah rugi-rugi menjadi masalah yang umum terjadi dan perlu mendapat perhatian lebih mengingat rugi-rugi sistem berhubungan dengan keandalan sistem itu sendiri yang berdampak pada ketidakpuasan pengguna sistem tenaga. Keberadaan DG menjadi hal yang penting karena dapat memperbaiki daya sistem dengan menurunkan rugi-rugi pada daya aktif. Keberadaan DG pada sistem akan mengurangi daya yang disuplai oleh sumber sesuai besar kapasitas yang disuplai oleh DG. Berkurangnya daya dari sumber akan mengurangi arus yang mengalir pada saluran sehingga dapat menurunkan rugi-rugi daya. Adanya DG akan sangat berperan dalam menutupi kekurangan suplai energi dan memperbaiki keadaan energi. Akan tetapi, peran penting tersebut akan efektif tergantung dari lokasi dan kapasitas dari DG itu sendiri. Jika DG ditempatkan pada lokasi yang kurang baik dan kapasitasnya yang tidak sesuai dapat menyebabkan DG tersebut menjadi tidak efektif bahkan dapat membawa efek negatif pada sistem saat pengoperasian sehingga *Active Distribution Network* (ADN) yang menggunakan DG menjadi lebih kompleks dibandingkan *Traditional Distribution Network* (TDN) dalam hal perencanaan jangka panjang. ADN merupakan sistem distribusi yang tidak hanya sekedar menyalurkan daya dari sistem transmisi ke beban seperti halnya pada TDN, tetapi juga memiliki sistem kontrol dan monitoring terhadap profil tegangan, aliran daya dan gangguan secara *real-time*. Berbagai pembahasan dan metode telah pernah dilakukan mengenai pemanfaatan DG, seperti [1] yang membahas penentuan kapasitas dan lokasi DG menggunakan metode Genetic Algorithm, penggunaan metode analitik dalam menentukan lokasi dan kapasitas optimum DG[2] , perencanaan jaringan distribusi aktif dengan mempertimbangkan multi-DG[3].

Perubahan konfigurasi jaringan atau yang umum disebut rekonfigurasi jaringan selain dapat dimanfaatkan dalam proses restorasi pasca-gangguan dapat juga digunakan dalam upaya penurunan losses daya sistem. Konsep dasar dalam mengubah konfigurasi jaringan adalah mengubah status *sectional switch* maupun *tie switch* [4, 5] dan berbagai metode telah dikembangkan oleh berbagai pihak [6-8] untuk mempermudah dalam menentukan status switch tersebut. Akan tetapi,

adanya perubahan konfigurasi ini bisa berpengaruh terhadap efektivitas DG sehingga dalam suatu perencanaan DG perlu dipertimbangkan kehadiran rekonfigurasi tersebut.

1.2 Permasalahan

Penggabungan upaya perubahan konfigurasi dan penempatan DG diharapkan dapat memberikan dampak positif dalam memperbaiki ketersediaan energi. Hal ini diwujudkan melalui perbaikan kualitas daya sistem yang pada akhirnya akan mengurangi rugi-rugi daya. Perubahan konfigurasi dan pemasangan DG pada sistem dapat menjadi solusi. Lokasi DG yang dekat dengan beban dapat langsung memberikan dampak lebih pada sistem. Akan tetapi, perencanaan DG yang tidak tepat dapat menyebabkan keberadaannya tidak efektif terlebih jika terjadi perubahan konfigurasi pada sistem. Oleh karena itu, kapasitas dan lokasi DG yang tepat perlu diketahui dalam perencanaan pemasangan DG agar dapat menjadi efektif dan menjadi ekonomis.

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk

1. Mengetahui letak dan kapasitas DG dalam upaya mengatasi rugi-rugi daya
2. Mengetahui letak dan kapasitas DG jika terjadi perubahan bentuk jaringan

1.4 Batasan Tugas Akhir

Penyelesaian permasalahan dalam tugas akhir ini memiliki beberapa batasan, yaitu:

1. Optimasi yang dilakukan bertujuan untuk perencanaan masa depan
2. Metode yang digunakan adalah metode analitik dan metode aliran daya yang digunakan adalah Newton Raphson
3. DG yang digunakan dua buah
4. Sistem yang digunakan dalam keadaan seimbang yaitu sistem distribusi Kota Surabaya yang digunakan
5. PF sistem dan PF DG adalah 0.85
6. Peningkatan beban sistem tidak diperhitungkan
7. Perhitungan biaya investasi dan pembangkitan tidak diperhitungkan

1.5 Metodologi Tugas Akhir

1. Studi Literatur

Studi literatur mengenai sistem tenaga listrik serta konsep perubahan konfigurasi dan DG dengan menggunakan metode Analitik. Literatur dapat berupa jurnal maupun buku.

2. Pengumpulan data sistem

Melakukan pengumpulan data berupa bentuk konfigurasi sistem, pembebanan pada setiap bus, serta data saluran yang menggambarkan impedansi pada setiap saluran. Data yang didapat kemudian akan digunakan sebagai input pada simulasi menggunakan MATLAB.

3. Simulasi

Dilakukan simulasi penghitungan dalam hal aliran daya sistem sehingga dapat diketahui dampak dilakukannya *switching*, penempatan serta penentuan kapasitas DG terhadap power loss pada jaringan yang dianalisis.

4. Analisis

Data hasil simulasi selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan lokasi penempatan DG dan kapasitas DG sehingga sistem memiliki rugi-rugi daya yang minimum terlebih ketika pada sistem dilakukan perubahan konfigurasi jaringan.

5. Penyusunan Laporan

Hasil simulasi serta analisis yang telah dilakukan kemudian akan membentuk suatu laporan yang akan disertakan dengan latar belakang, metode serta kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

BAB I : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan awal tugas akhir ini. Bab ini berisi latar belakang, permasalahan masalah, tujuan yang ingin dicapai, batasan masalah, metodologi penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi dari tugas kahir yang dikerjakan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang digunakan untuk menunjang penyusunan tugas akhir ini. Seperti mengenai analisis aliran daya, sistem distribusi, dan distributed generation.

BAB III : Perancangan dan Pemodelan

Berisi perancangan serta pemodelan matematik atas penentuan lokasi dan kapasitas DG, pengubahan konfigurasi serta aliran daya yang akan diimplementasikan pada *software* MATLAB.

BAB IV : Simulasi dan Analisis

Bab ini membahas hasil perhitungan analisis aliran daya serta pelaksanaan simulasi dalam menentukan lokasi dan kapasitas DG.

BAB V : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Meningkatkan pengembangan ilmu khususnya pada sistem tenaga listrik serta pengaplikasiannya.
2. Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan analisis pada sistem distribusi tenaga listrik.

BAB II

SISTEM DISTRIBUSI RADIAL, ANALISIS ALIRAN DAYA, PERUBAHAN KONFIGURASI DAN DISTRIBUTED GENERATION

2.1 Sistem Distribusi Radial

Jaringan distribusi memiliki fungsi untuk menyalurkan energi listrik ke pelanggan yang memiliki tingkat tegangan rendah (380/220V, distribusi sekunder) dan menengah (20kV, distribusi primer) yang digunakan di Indonesia. Ada dua jenis bentuk jaringan distribusi yang umum digunakan, yakni *radial* dan *loop* tetapi yang paling umum digunakan adalah bentuk radial. Jaringan distribusi radial memiliki bentuk yang paling sederhana karena terdiri dari jalur utama yang panjang dan dicabang-cabangkan ke beban-beban yakni konsumen seperti yang tergambar pada gambar 2.1. Akan tetapi, tingkat keandalan dari jaringan ini tergolong rendah.

2.2 Analisis Aliran Daya

2.2.1 Pengertian

Pada sistem tenaga listrik, daya listrik akan dialirkan ke semua bus pada sistem yang akan mengalir menuju semua beban. Analisis atas Aliran daya memiliki peranan penting dan menjadi inti dari analisis jaringan untuk perencanaan pengembangan sistem tenaga listrik ataupun mengevaluasi serta menganalisa kinerja sistem tenaga listrik. Analisis yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan data dan informasi jaringan sehingga didapatkan gambaran mengenai kondisi sistem terkini.

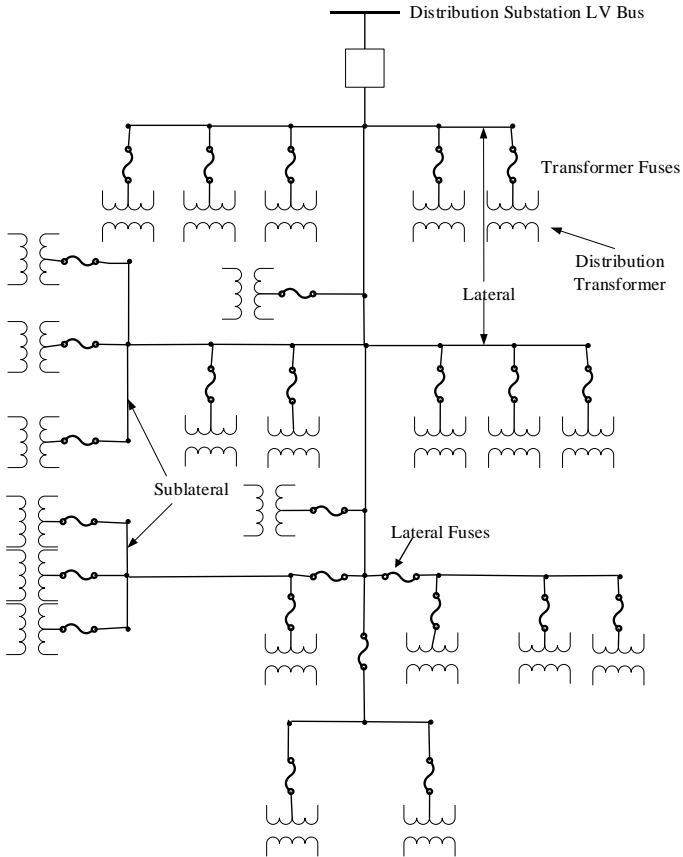
Sistem tenaga listrik dapat digambarkan secara sederhana menjadi seperti pada gambar 2.2. Nilai arus I_i didapatkan dengan menggunakan persamaan kirchoff (KCL) yang menghasilkan persamaan

$$I_i = y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \\ = (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \quad (2.1)$$

Ada pun nilai daya aktif dan reaktif pada bus i didapat dari:

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.2)$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.3)$$

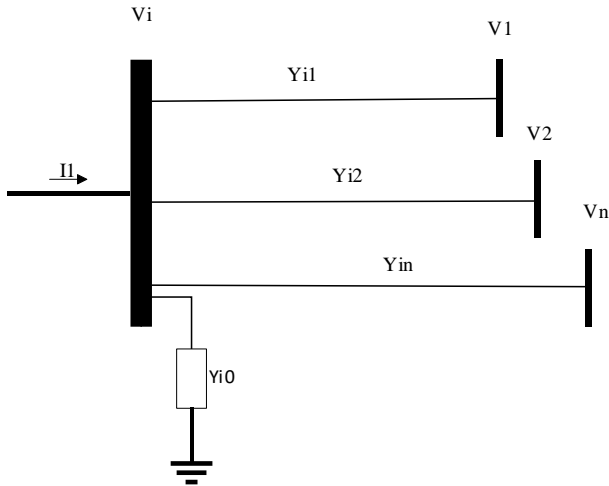


Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Radial[9]

Jika persamaan 2.3 disubstitusikan ke persamaan 2.1 maka didapatkan:

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.4)$$

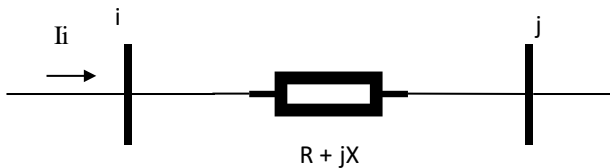
Berdasarkan persamaan tersebut, maka persamaan aliran daya menghasilkan persamaan nonlinear yang membutuhkan Teknik iterasi untuk menyelesaikannya.



Gambar 2.2 Bus STL Tipikal

2.2.2 Newton Raphson[10]

Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam analisis aliran daya, seperti *Gauss-Seidel*, *Fast Decoupled*, *Newton-Raphson*, dan *Topology Network*. Metode yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah *Newton Raphson*. Metode ini memiliki kemampuan jumlah iterasi yang tidak tergantung dengan besarnya sistem dan cepat mencapai konvergen. Hasil analisis akan didapat nilai arus, tegangan, rugi-rugi daya sistem.



Gambar 2.3 Aliran Daya

Untuk sistem sederhana pada gambar 2.3, arus I_i juga bisa didapatkan dari:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2.5)$$

Jika diubah menjadi bentuk polar:

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.6)$$

Adapun nilai daya kompleks:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.7)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.6 ke 2.7:

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.8)$$

Daya kompleks dapat dipisah berdasarkan komponen riil dan imajiner:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.9)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |Y_{ij}| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.10)$$

Persamaan 2.9 dan 2.10 dapat diperluas dengan deret taylor untuk mendapatkan nilai estimasi tegangan dan sudut tegangan menjadi:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2^{(k)}} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n^{(k)}} \right) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2^{(k)}} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n^{(k)}} \right) \\ \left(\frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2^{(k)}} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n^{(k)}} \right) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2^{(k)}} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n^{(k)}} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Secara sederhana persamaan 2.11 dapat ditulis menjadi:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Matriks Jacobian pada persamaan 2.11 merupakan partial derivative dari persamaan 2.9 dan 2.10 terhadap $\Delta\delta_i^{(k)}$ dan $\Delta|V_i^{(k)}|$. Elemen diagonal dan off-diagonal pada J1 didapat dari:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |Y_{ij}| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |Y_{ij}| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), j \neq i \quad (2.14)$$

Elemen diagonal dan off-diagonal J2 didapat dari:

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), j \neq i \quad (2.16)$$

Elemen diagonal dan off-diagonal J3 didapat dari:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), j \neq i \quad (2.18)$$

Elemen diagonal dan off-diagonal J4 didapat dari:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), j \neq i \quad (2.20)$$

Elemen matriks Jacobi dihitung ulang setiap kali terjadi iterasi menggunakan asumsi nilai magnitude tegangan dan sudut fasa awal. Adapun nilai $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ merupakan power residual yang merupakan selisih dari nilai daya yang direncanakan dan nilai yang dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta P_i^k = P_i^{(scheduled)} - P_i^k \quad (2.21)$$

$$\Delta Q_i^k = Q_i^{(scheduled)} - Q_i^k \quad (2.22)$$

Nilai estimasi baru untuk tegangan dan sudut tegangan didapat dari:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (2.23)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2.24)$$

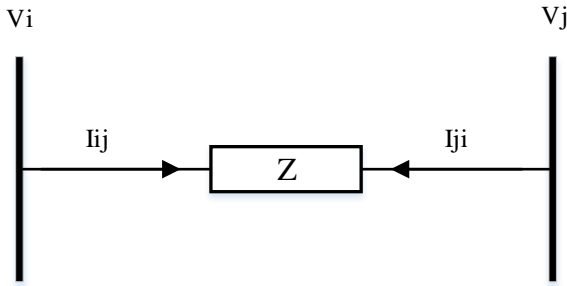
Perhitungan akan dilakukan iterasi hingga memenuhi:

$$|\Delta P_i^k| \leq \epsilon \quad \text{dan} \quad |\Delta Q_i^k| \leq \epsilon \quad (2.25)$$

Nilai ϵ merupakan nilai toleransi yang diinginkan

2.2.3 Rugi Jaringan

Setelah proses iterasi sudah selesai dan nilai tegangan dan arus diketahui untuk setiap bus, maka rugi daya pada jaringan bisa didapatkan. Representasi sebuah saluran pada jaringan secara sederhana dapat dilihat pada gambar 2.4. Arus saluran I_{ij} berupa nilai positif yang memiliki arah maju sedangkan I_{ji} bernilai negatif pada arah mundur.



Gambar 2.4 Saluran Sistem

$$I_{ij} = Z_{ij}(V_i - V_j) \quad (2.11)$$

$$I_{ij} = I_{ij} = Z_{ij}(V_j - V_i) \quad (2.12)$$

Ada pun aliran dayanya:

$$S_{ij} = V_i * I_{ij}^* \quad (2.13)$$

$$S_{ji} = V_j * I_{ji}^* \quad (2.14)$$

Berdasarkan persamaan di atas, maka rugi saluran:

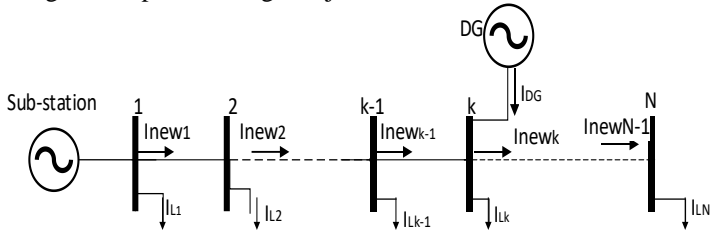
$$S_{l\ ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.15)$$

$$P_{l\ ij} = \text{real} (S_{l\ ij}) \quad (2.16)$$

2.3 Metode Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG[2]

Metode yang digunakan pada tugas akhir ini adalah metode analitis yang memodelkan suatu sistem menjadi bentuk persamaan matematika. Persamaan matematika dibentuk untuk mempermudah menganalisis suatu permasalahan mengingat sistem tentunya memiliki banyak objek. Sistem tenaga listrik yang memiliki beberapa komponen, seperti tegangan, arus, dan daya jika diselesaikan dengan metode analitis sangatlah cocok untuk mendapatkan nilai secara ilmiah.

Berdasarkan gambar 2.5, ketika sebuah DG dipasang pada bus ke-K, maka akan ada arus (I_{DG}) yang diinjeksikan oleh DG menuju sistem melalui bus k. Akan tetapi, arus tersebut hanya akan mempengaruhi cabang yang terhubung antara bus k dan bus sumber sehingga penghitungan arus pada cabang menjadi:



Gambar 2.5 Sistem Distribusi Tipikal dengan DG

$$I_i^{new} = I_i - D_i I_{DG} \quad (2.17)$$

Adapun I_{DG} dapat dijabarkan menjadi:

$$I_{DG} = I_{ADG} + jI_{rDG} = I_{ADG}(1 + j \tan \theta) \quad (2.18)$$

Sehingga:

$$I_i^{new} = (I_{ai} - D_i I_{ADG}) + j(I_{ri} - D_i I_{ADG} \tan \theta) \quad (2.19)$$

Persamaan 2.19 dapat pula dimodifikasi menjadi persamaan 2.20 ketika sistem akan dipasang DG sebanyak m buah:

$$I_i^{new} = I_i - \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{DG}^k$$

$$= (I_{ai} - \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k) + j(I_{ri} - \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k \tan \theta^k) \quad (2.20)$$

Nilai I_{aDG} dan I_{rDG} merupakan komponen riil dan reaktif dari I_{DG} , I_i^{new} merupakan arus fasor termodifikasi pada cabang i , I_{DG}^k merupakan arus phasor yang diinjeksikan oleh DG ke- k sedangkan I_{aDG}^k dan $\tan \theta^k$ merupakan komponen aktif dan sudut phasa dari I_{DG}^k . Nilai D_i dan D_{ik} akan bernilai 1 ketika cabang i berada di antara bus sumber dan bus k dan akan bernilai nol jika tidak di antara kedua bus tersebut.

Total losses daya aktif (Ploss) dan losses daya reaktif (Qloss) pada sistem distribusi N -bus seperti pada gambar 2.4 dapat dihitung menggunakan:

$$P_L = \sum_{i=1}^{N-1} I_i^2 R_i = \sum_{i=1}^{N-1} (I_{ai}^2 + I_{ri}^2) R_i \quad (2.21)$$

$$Q_L = \sum_{i=1}^{N-1} I_i^2 X_i = \sum_{i=1}^{N-1} (I_{ai}^2 + I_{ri}^2) X_i \quad (2.22)$$

Persaman 2.21 dan 2.22 kemudian dapat dimodifikasi menjadi persamaan 2.23 dan 2.24 ketika terdapat m DG:

$$P_L^{new} = \sum_{i=1}^{N-1} (I_i^{new})^2 R_i = \sum_{i=1}^{N-1} [(I_{ai} - \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k)^2 + (I_{ri} - \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k \tan \theta^k)^2] R_i \quad (2.23)$$

$$Q_L^{new} = \sum_{i=1}^{N-1} (I_i^{new})^2 X_i = \sum_{i=1}^{N-1} [(I_{ai} - \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k)^2 + (I_{ri} - \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k \tan \theta^k)^2] X_i \quad (2.24)$$

Persamaan 2.21 dan 2.22 serta persamaan 2.23 dan 2.24 dapat digunakan untuk menghitung penghematan daya (*Power Saving*), P_s dan Q_s yang akan didapat ketika adanya DG:

$$\begin{aligned} P_s &= 1 - \frac{P_L^{new}}{P_L} \\ &= 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N-1} [(I_{ai} - \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k)^2 + (I_{ri} - \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k \tan \theta^k)^2] R_i}{\sum_{i=1}^{N-1} (I_{ai}^2 + I_{ri}^2) R_i} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{N-1} [2 \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k (I_{ai} + I_{ri} \tan \theta^k) - (\sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k)^2 - (\sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k \tan \theta^k)^2] R_i}{\sum_{i=1}^{N-1} (I_{ai}^2 + I_{ri}^2) R_i} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{N-1} [2 \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k (I_{ai} + I_{ri} \tan \theta^k) - (\sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k)^2 - (\sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k \tan \theta^k)^2] R_i}{P_L} \quad (2.25) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_S &= 1 - \frac{Q_L^{new}}{Q_L} \\
&= 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \left[\left(I_{ai} - \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k \right)^2 + \left(I_{ri} - \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k \tan \theta^k \right)^2 \right] X_i}{\sum_{i=1}^{N-1} (I_{ai}^2 + I_{ri}^2) X_i} \\
&= \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \left[2 \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k (I_{ai} + I_{ri} \tan \theta^k) - \left(\sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k \right)^2 - \left(\sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k \tan \theta^k \right)^2 \right] X_i}{\sum_{i=1}^{N-1} (I_{ai}^2 + I_{ri}^2) X_i} \\
&= \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \left[2 \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k (I_{ai} + I_{ri} \tan \theta^k) - \left(\sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k \right)^2 - \left(\sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k \tan \theta^k \right)^2 \right] X_i}{Q_L} \quad (2.26)
\end{aligned}$$

2.3.1 Net Benefit

Pemanfaatan P_S dan Q_S dari persamaan 2.25 dan 2.26 didapat *net benefit* dengan adanya DG yang diwujudkan dalam:

$$f = w_1 P_S + w_2 Q_S \quad (2.27)$$

yang merepresentasikan besar keuntungan yang didapat dengan adanya pemasangan DG. w_1 dan w_2 merupakan konstanta yang merepresentasikan bobot dari pengurangan P_L dan Q_L dengan pembobotan:

$$w_1 + w_2 = 1 \quad (2.28)$$

Arus yang dibutuhkan untuk mendapatkan benefit maksimum didapat dari penyelesaian persamaan parsial derivatif f terhadap arus DG (persamaan 2.29) dan dapat dijabarkan menjadi persamaan 2.30 sebanyak m. Persamaan ini dapat disederhanakan menjadi bentuk matriks menjadi persamaan 2.31

$$\begin{aligned}
\frac{\partial f}{\partial I_{aDG}^p} &= 2 \sum_{i=1}^{N-1} \{ D_{ip} (I_{ai} + I_{ri} \tan \theta^p) - D_{ip} \sum_{k=1}^m D_{ik} I_{aDG}^k (1 + \\
&\tan \theta^p \tan \theta^k) \} (w_1 \frac{R_i}{P_L} + w_2 \frac{X_i}{Q_L}) = 0 \quad (2.30)
\end{aligned}$$

$$[A]_{m \times m} [I_{aDG}]_{m \times 1} = [B]_{m \times 1} \quad (2.31)$$

Elemen (p,q) dari matriks A dapat dihitung melalui persamaan 2.32 dan elemen p dari matriks B melalui persamaan 2.33

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial I_{aDG}^1} &= w_1 \frac{\partial P_S}{\partial I_{aDG}^1} + w_2 \frac{\partial Q_S}{\partial I_{aDG}^1} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial I_{aDG}^2} &= w_1 \frac{\partial P_S}{\partial I_{aDG}^2} + w_2 \frac{\partial Q_S}{\partial I_{aDG}^2} = 0 \\ &\vdots \\ \frac{\partial f}{\partial I_{aDG}^m} &= w_1 \frac{\partial P_S}{\partial I_{aDG}^m} + w_2 \frac{\partial Q_S}{\partial I_{aDG}^m} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.29)$$

$$A_{pq} = \sum_{i=1}^{N-1} D_{ip} D_{iq} (1 + \tan \theta^p \tan \theta^k) (w_1 \frac{R_i}{P_i} + w_2 \frac{X_i}{Q_i}) \quad (2.32)$$

$$B_p = \sum_{i=1}^{N-1} D_{ip} (I_{ai} + I_{ri} \tan \theta^p) (w_1 \frac{R_i}{P_i} + w_2 \frac{X_i}{Q_i}) \quad (2.33)$$

Berdasarkan Persamaan 2.31, maka komponen aktif arus DG didapat dengan cara melakukan inverse matriks:

$$[I_{aDG}] = [A]^{-1} [B] \quad (2.34)$$

dan kapasitas DG yang dibutuhkan untuk DG ke-k dapat dihitung melalui

$$S_{DG}^k = V^k \cdot I_{aDG}^k (1 - j \tan \theta^k) \quad (2.35)$$

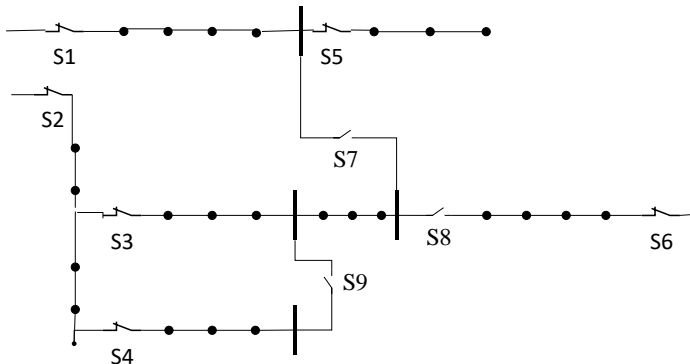
$$\theta^k = \phi^k - \cos^{-1}(PF_{DG}^k) \quad (2.36)$$

ϕ^k merupakan sudut V^k , fasor tegangan dari DG ke-k dan PF_{DG}^k adalah *power factor* DG ke-k

2.4 Perubahan Konfigurasi Jaringan

Sistem distribusi tenaga listrik umumnya berbentuk radial memiliki *switch* yang dapat digunakan untuk manajemen jaringan dengan melakukan pengubahan konfigurasi agar dapat mengatasi berbagai gangguan pada jaringan. Salah satu tujuan manajemen konfigurasi adalah untuk mengatasi rugi-rugi jaringan (*power loss*) yang diharapkan dapat memperoleh *power loss* minimum. Pengubahan konfigurasi ini dapat dilakukan dengan melakukan pengubahan kondisi switch Normally Open (NO) atau Normally Close (NC) ataupun dengan mengubah topologi secara total.

Gambar 2.6 menunjukkan jaringan distribusi sederhana yang terpasang beberapa switch dengan beban digambarkan dengan dot (•). Adapun terdapat dua jenis switch pada sistem, yaitu Normally closed switches yang menghubungkan tiap saluran (SS1-SS6) dan Normally Open switch yang menghubungkan dua penyulang (TS7), atau dua substations (TS6), atau antar cabang (TS9). Pelaksanaan pengubahan konfigurasi dapat dilakukan dengan pengubahan kondisi switch yang ada dengan menjaga sistem tetap berbentuk radial setelah terjadi perubahan. Sebagai contoh, jika TS 7 ditutup maka SS3 harus dibuka agar sistem tetap radial.



Gambar 2.6 Jaringan Distribusi dengan Switch

Jaringan pada gambar 2.7 menunjukkan suatu jaringan distribusi sedederhana yang memiliki beberapa saluran yang terputus dikarenakan switch yang terbuka (dilambangkan dengan garis putus-putus) yaitu cabang 20, 21, 22 sedangkan saluran yang digambarkan dengan garis tegas menunjukkan saluran yang terhubung. Jika switch pada saluran 21 ditutup, maka akan terbentuk suatu loop pada sistem (saluran 1-3, 21-7) sehingga perlu membuka salah satu saluran yaitu dengan membuka switch di saluran 7 untuk menjaga sistem tetap radial. Secara tidak langsung, teknik ini mengganti saluran 7 dengan saluran 21 (branch exchange) sehingga akan terjadi perpindahan beban. Perubahan konfigurasi sistem dengan *branch exchange* akan memanfaatkan semua bentuk kemungkinan konfigurasi mengingat switch pada sistem bisa saja lebih dari satu dalam menentukan konfigurasi yang memiliki rugi daya sistem terendah.

listrik pada sistem. Data-data tersebut ditampilkan dalam bentuk pemetaan.

Tabel 2.1 Tipe DG berdasarkan kapasitasnya[11]

<i>Distributed Generation (DG)</i>	<i>Capacity (Kapasitas)</i>
<i>Micro DG</i>	1 Watt – 5 kW
<i>Small DG</i>	5 kW – 5 MW
<i>Medium DG</i>	5MW – 50 MW
<i>Large DG</i>	50 MW – 300 MW

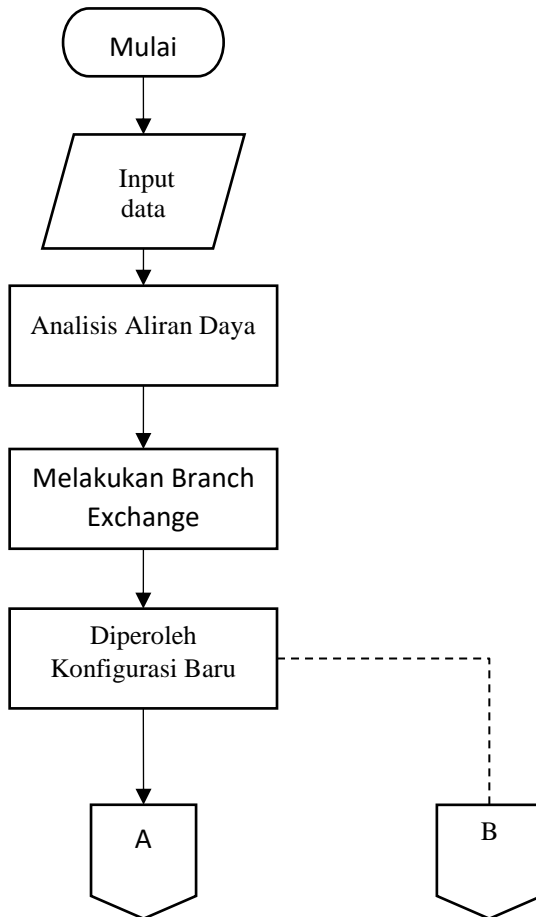
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

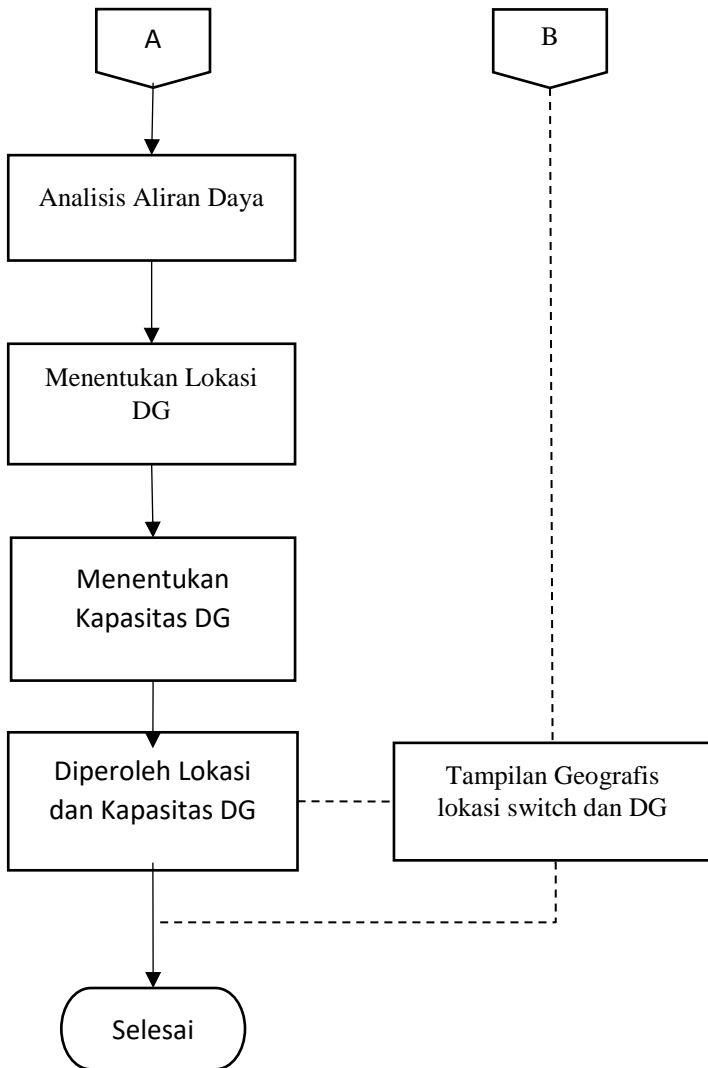
BAB III

PENENTUAN LOKASI DAN KAPASITAS DG MEMPERTIMBANGKAN PERUBAHAN KONFIGURASI

3.1 Diagram Alir Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG

Berikut diagram alir penentuan DG mempertimbangkan perubahan konfigurasi Jaringan distribusi:





Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi

3.2 Penjelasan Diagram Alir

Diagram alir pada gambar 3.1 menampilkan tahapan penentuan lokasi dan kapasitas DG ketika adanya perubahan konfigurasi jaringan. Berikut penjelasan mengenai tahapan tersebut:

3.2.1 Input Data

Sistem yang akan digunakan dalam tugas akhir ini menggunakan sistem distribusi radial Kota Surabaya, yaitu penyulang Kaliasin, Tegal Sari, Tunjungan Plaza, Ometraco, serta Basuki Rahmat. Bentuk jaringan awal sistem dapat dilihat pada Lampiran 5. Tahapan awal dibutuhkan data beban diambil dari SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) dan data jaringan berasal dari database GIS. Proses pengambilan data dengan adanya GIS menjadi lebih praktis mengingat banyaknya bus pada jaringan yang digunakan. Tidak hanya itu, pemanfaatan GIS juga membantu dalam mengetahui gambaran lingkungan dari lokasi *switch* dan DG.

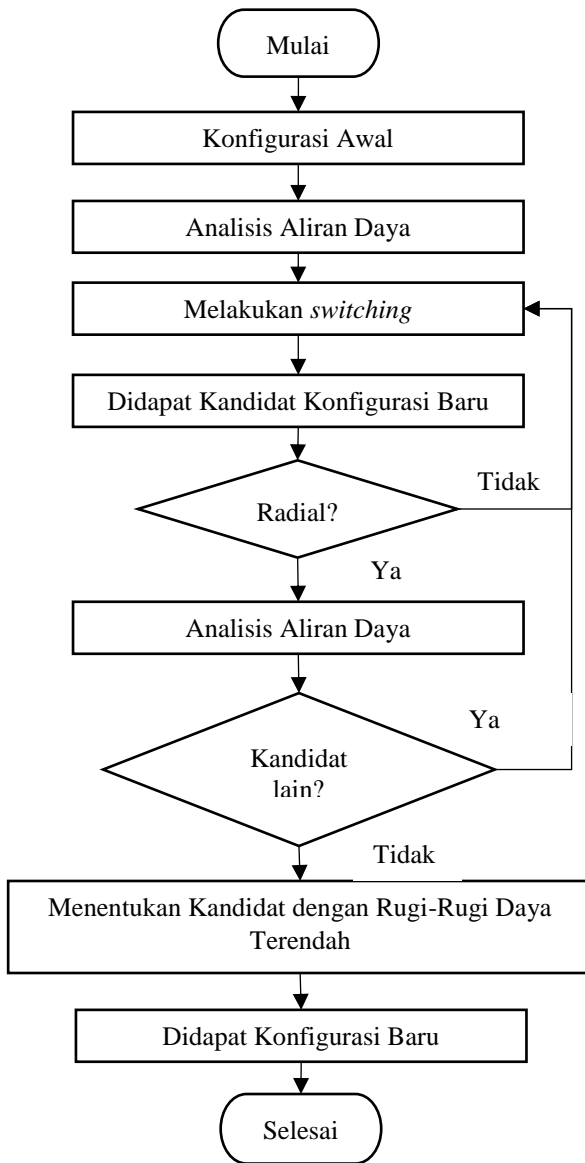
3.2.2 Analisis Aliran Daya

Tahapan analisis aliran daya menjadi salah satu tahapan yang terpenting dari keseluruhan tahapan sehingga proses penentuan lokasi dan kapasitas DG serta konfigurasi baru jaringan dapat dilaksanakan. Tahap ini membutuhkan data-data distribusi yang berasal dari database SCADA dan GIS seperti data beban, data tegangan setiap bus serta impedansi saluran.

Hasil analisis aliran daya menunjukkan kondisi sistem distribusi berupa beberapa parameter, seperti tegangan setiap bus, aliran daya aktif dan daya reaktif serta losses sistem baik sebelum maupun sesudah adanya perubahan konfigurasi serta setelah penambahan DG. Hal ini selanjutnya akan membantu dalam proses penentuan lokasi dan kapasitas DG serta lokasi *switch* dengan kondisi Plosses sistem terendah.

3.2.3 Perubahan Konfigurasi dengan *Branch Exchange*

Konfigurasi awal sistem perlu diketahui terlebih dahulu sebelum menuju ke tahap berikutnya, termasuk mengetahui lokasi *switch* pada sistem mengingat terdapat banyak saluran pada sistem yang dianalisis. Hal ini akan membantu dalam menentukan pasangan *switch* yang diperlukan.



Gambar 3.2 Branch Exchange

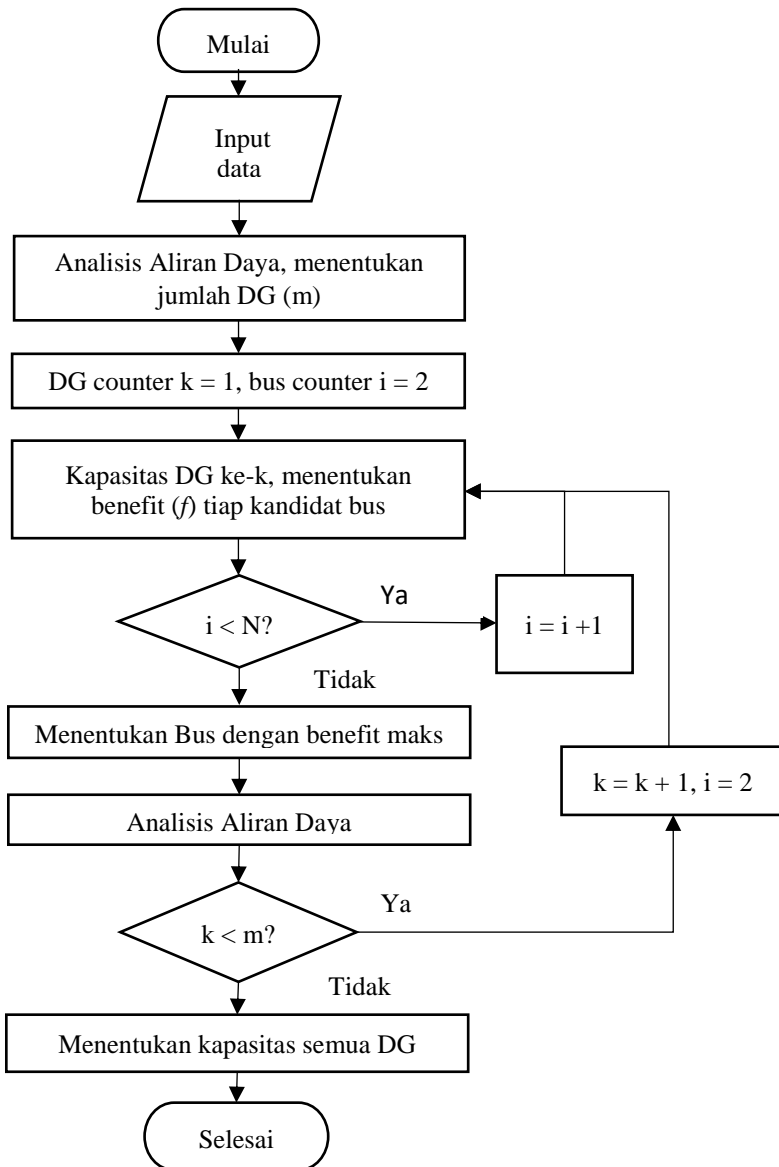
Lokasi *switch* yang telah diketahui kemudian ditentukan *switch* yang akan ditutup sehingga suatu cabang yang awalnya tidak terhubung menjadi terhubung dalam sistem. Kemudian, sistem perlu diidentifikasi apakah dengan penutupan *switch* tersebut tetap mempertahankan bentuk radial dan tidak ada beban yang terisolir. Jika tidak, maka perlu adanya *switch* lain (*sectionalizing*) yang dibuka yang menyebabkan cabang terputus dari sistem sehingga terjadi *branch exchange* antara saluran yang terletak *switch* tersebut. Hal ini akan menciptakan kandidat konfigurasi yang baru dan dengan melakukan analisis aliran daya akan didapatkan nilai nilai rugi-rugi daya sistem yang baru. Proses *branch exchange* diulang hingga didapat kombinasi *switch* yang harus dibuka dan ditutup yang menghasilkan rugi-rugi daya sistem terendah. Adapun pada sistem yang digunakan memiliki delapan *sectionalize switch* dan empat *tie switch*.

3.2.4 Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG

Setelah didapat konfigurasi dengan Plosses terendah, maka tahap selanjutnya adalah menentukan lokasi dan kapasitas DG optimum dengan menggunakan konfigurasi yang telah didapatkan. Tahap ini diawali dengan menentukan jumlah DG yang akan dipasang, misalkan sebanyak m bus. Kemudian, ditentukan kapasitas DG ke- k menggunakan persamaan 2.35 dan 2.36. Nilai I_{aDG}^k pada persamaan 2.35 untuk DG ke- k didapat dari persamaan 2.34 dengan mengasumsikan nilai $m=1$ sehingga persamaan 2.35 menjadi:

$$I_{aDG}^k = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} D_i (I_{ai} + I_{ri} \tan \theta^k) (w_1 \frac{R_i}{P_L} + w_2 \frac{X_i}{Q_L})}{\sum_{i=1}^{N-1} (D_i \sec \tan \theta^k)^2 (w_1 \frac{R_i}{P_L} + w_2 \frac{X_i}{Q_L})} \quad (3.1)$$

Kapasitas DG ke- k dihitung untuk sebuah bus yang kemudian ditinjau besar *benefit*nya dengan menggunakan persamaan 2.27. Kemudian, dihitung losses sistem untuk kemudian proses diulang untuk bus berikutnya. Bus yang memberikan nilai *benefit* terbesar dipilih menjadi lokasi optimum. Setelah didapat lokasi optimum untuk setiap DG, maka dengan menggunakan persamaan 2.34, 2.35, 2.36 dapat dihitung kapasitas DG sebanyak m buah. Pada tugas akhir ini, nilai PF DG yang akan dipasang semua sama, yaitu 0.85. selain itu, nilai pembobotan *benefit* yang digunakan adalah $w_1=1$ dan $w_2=0$.



Gambar 3.3 Penentuan Kapasitas dan Lokasi DG

3.2.5 Lokasi Geografis pada GIS

Lokasi DG yang telah didapatkan dari hasil simulasi akan dilacak pada GIS untuk mendapatkan letak geografisnya sehingga dapat diketahui kondisi keadaan lingkungan pada lokasi nyata. Informasi lokasi dapat membantu dalam perencanaan dalam menentukan konfigurasi jaringan dan lokasi penempatan DG.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

SIMULASI DAN ANALISIS

Simulasi menjadi sarana yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang akan menjadi solusi atas permasalahan yang terjadi. Media yang digunakan sebagai alat simulasi adalah software matlab 2015b. Adapun yang akan dibahas pada bab ini adalah sistem distribusi Surabaya untuk mengatasi losses daya pada sistem.

4.1 Kondisi Awal Penyulang Kota Surabaya

Kondisi awal sistem yaitu tegangan, aliran daya serta rugi- rugi daya aktif didapatkan setelah menjalankan simulasi aliran daya.

4.1.1 Tegangan

Tegangan sistem hasil simulasi ditampilkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data Tegangan Kondisi Awal

Bus	Tegangan (p.u)
1	1
2	0.999844762
3	0.999633774
4	0.999556405
5	0.999554042
6	0.999474512
7	0.999391858
8	0.99934955
9	0.999278363
10	0.999147987
11	0.999021097
12	0.998920434
13	0.998911321
14	0.998898876
15	0.998771545
16	0.998667592
17	0.998660622
18	0.99858382
19	0.99857213
20	0.998558089
21	0.998557737

Tabel 4.1 Data Tegangan Kondisi Awal (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)
22	0.999316108
23	0.998883378
24	0.998748098
25	0.998676124
26	0.998574119
27	0.998540975
28	0.998516253
29	0.998506583
30	0.99849584
31	0.998460787
32	0.998256923
33	0.998218825
34	0.998205773
35	0.99812525
36	0.998121544
37	0.998119313
38	0.998056534
39	0.998049663
40	0.998045604
41	0.998009818
42	0.997998653
43	0.997995685
44	0.999791042
45	0.999777672
46	0.999567601
47	0.999536424
48	0.999534146
49	0.999436671
50	0.999338393
51	0.9992767
52	0.999236435
53	0.999153674
54	0.998913275
55	0.998608412
56	0.998193753

Tabel 4.1 Data Tegangan Kondisi Awal (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)
57	0.998123004
58	0.997939215
59	0.997938469
60	0.997911935
61	0.997908774
62	0.997899594
63	0.997877442
64	0.997826869
65	0.997825619
66	0.997712722
67	0.997492008
68	0.997486878
69	0.997401126
70	0.997400156
71	0.997334451
72	0.997324566
73	0.997218114
74	0.997185557
75	0.997185168
76	0.997151499
77	0.997147463
78	0.997112092
79	0.997030362
80	0.997014384
81	0.997012655
82	0.996988673
83	0.996987978
84	0.996954738
85	0.996947922
86	0.996925234
87	0.996921841
88	0.996922386
89	0.99690661
90	0.996878594
91	0.99687787

Tabel 4.1 Data Tegangan Kondisi Awal (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)
92	0.996867904
93	0.996865391
94	0.99686642
95	0.99686623
96	0.996857824
97	0.996849343
98	0.996846175
99	0.996845118
100	0.991686297
101	0.989544553
102	0.988866359
103	0.988252149
104	0.987677325
105	0.987656811
106	0.986605494
107	0.986083626
108	0.986316989
109	0.986064902
110	0.987479371
111	0.987389792
Rata-rata	0.997035141

Berdasarkan hasil magnitudo tegangan pada Tabel 4.1, kondisi sistem Surabaya pada tiap bus berada pada kondisi yang baik dengan tidak mengalami undervoltage maupun overvoltage sesuai batas $0.95 \text{ p.u} < V < 1.05$.

4.1.2 Rugi Daya Aktif Sistem

Selain tegangan, tentunya rugi-rugi daya saluran sistem awal penting untuk diketahui sebagai objek yang akan dioptimalkan. Rugi-rugi daya aktif saluran ditampilkan pada Tabel 4.3. Pada penyulang Basuki Rahmat dan penyulang Ometraco memiliki total rugi daya yang paling besar dari semua penyulang yang digunakan. Basuki Rahmat memiliki rugi-rugi daya besar karena beban yang banyak sedangkan Ometraco disebabkan resistansi saluran yang besar.

Tabel 4.2 Rugi-rugi Daya Aktif

Bus Kirim	Bus Terima	Rugi daya Aktif (KW)
1	2	0.355486945
2	3	0.443005357
3	4	0.145546692
4	5	0.000248422
4	6	0.134343513
6	7	0.131959235
7	8	0.06562715
8	9	0.096192842
9	10	0.168675874
10	11	0.158151279
11	12	0.12299018
12	13	0.002056588
12	14	0.004297326
12	15	0.098908193
15	16	0.060058186
16	17	0.00334285
17	18	0.035327565
18	19	0.00377548
19	20	0.003155596
20	21	0.000007083
1	22	2.103891281
22	23	1.313890879
23	24	0.398494569
24	25	0.202391301
25	26	0.273693163
26	27	0.021746593
27	28	0.012126965
28	29	0.001458415
28	30	0.002664171
26	31	0.222368547
31	32	0.391774956
32	33	0.065572746
33	34	0.002015456
33	35	0.140956071

Tabel 4.2 Rugi-rugi Daya Aktif (Lanjutan)

Bus Kirim	Bus Terima	Rugi daya Aktif (KW)
35	36	0.000212799
35	37	0.000981832
35	38	0.072845895
38	39	0.001244148
38	40	0.003297878
38	41	0.022326
41	42	0.003810205
38	39	0.001244148
38	40	0.003297878
38	41	0.022326
41	42	0.003810205
42	43	0.000431101
1	44	0.209170759
44	45	0.002107747
44	46	0.125281405
46	47	0.005519579
47	48	0.000199278
46	49	0.042921701
1	50	6.576178566
50	51	0.602137192
51	52	0.3872099
52	53	0.777231831
53	54	2.223127357
54	55	2.791797878
55	56	3.72277477
56	57	0.632032474
57	58	1.600435646
58	59	0.000067324
58	60	0.033046203
60	61	0.00001204
60	62	0.010497371
62	63	0.022142653
58	64	0.832090845
64	65	0.000112698

Tabel 4.2 Rugi-rugi Daya Aktif (Lanjutan)

Bus Kirim	Bus Terima	Rugi daya Aktif (KW)
64	66	0.835127227
66	67	1.594901312
67	68	0.002308745
67	69	0.615824771
69	70	0.000174635
69	71	0.439805164
71	72	0.006143484
71	73	0.695078546
73	74	0.063920286
73	75	0.132162289
75	76	0.130499522
76	77	0.00403784
76	78	0.113321264
78	79	0.22914385
79	80	0.043710349
80	81	0.000390386
80	82	0.064532533
82	83	0.000062813
82	84	0.082112928
84	85	0.064184341
85	86	0.053045362
86	87	0.00125482
86	88	0.000385872
86	89	0.024074967
89	90	0.032179854
90	91	0.000130264
90	92	0.010354492
92	93	0.000781039
92	94	0.000976423
94	95	0.000027411
94	96	0.004416599
96	97	0.003136197
97	98	0.000715386
98	99	0.000095464

Tabel 4.2 Rugi-rugi Daya Aktif (Lanjutan)

Bus Kirim	Bus Terima	Rugi daya Aktif (KW)
1	100	23.91140792
100	101	5.998323512
101	102	1.069794885
102	103	0.493888741
102	104	1.665712528
103	105	0.463860688
104	106	1.459138793
106	107	0.343950386
106	108	0.104923773
108	109	0.079739736
105	110	0.041197252
110	111	0.010381383
106	107	0.343950386
106	108	0.104923773
108	109	0.079739736
105	110	0.041197252
110	111	0.010381383
Total		68.77878

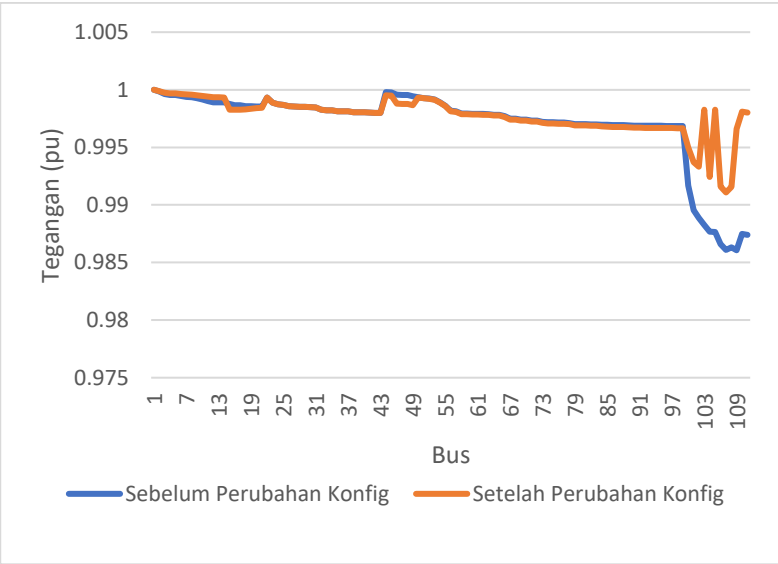
4.2 Perubahan Konfigurasi Jaringan

Perubahan Konfigurasi yang dilakukan bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya sistem. Pada tahap ini simulasi yang dilakukan untuk mendapatkan bentuk konfigurasi baru sehingga tujuan tercapai. Konfigurasi ini dilakukan dengan memanfaatkan pembukaan dan/atau penutupan switch yang ada, baik itu tie switch maupun sectional switch. Hasil yang didapat yaitu switch 18-105, 21-46, 95-109 tertutup sedangkan switch 12-15, 102-103, 108-109 (Konfigurasi A) terbuka sehingga bentuk konfigurasi menjadi seperti pada Lampiran 6.

Hasil yang didapat menunjukkan perubahan konfigurasi yang dilakukan berhasil menurunkan rugi-rugi daya aktif sistem sebesar 27.19%. Selain itu, nilai tegangan sistem secara keseluruhan mengalami peningkatan dengan peningkatan paling signifikan terjadi pada bus 98 hingga bus 111.

Tabel 4.3 Rugi-rugi Daya Keadaan Awal dan Perubahan Konfigurasi

	Keadaan Awal	Setelah Perubahan Konfigurasi
Rugi-Rugi Daya Aktif (KW)	68.778	50.074



Gambar 4.1 Perbandingan Tegangan Sebelum dan Sesudah Perubahan Konfigurasi

4.3 Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG

Pada metode yang digunakan, penentuan lokasi dilakukan dengan menentukan *net benefit* terbesar di antara semua *net benefit* setiap bus kandidat. Sedangkan untuk kapasitasnya dengan memperhitungkan arus DG pada bus yang telah didapatkan kemudian dihitung daya nyatanya. Penentuan DG berdasarkan keadaan sistem dengan konfigurasi baru.

Tabel 4.4 Lokasi dan Kapasitas DG dengan Perubahan Konfigurasi

DG ke-	Bus Lokasi	P (MW)	Q (MW)
1	73	8.36756	5.18303
2	106	1.29141	0.80609

Tabel 4.5 Lokasi dan Kapasitas DG Tanpa Perubahan Konfigurasi

DG ke-	Bus Lokasi	P (MW)	Q (MW)
1	106	2.04324	1.28047
2	73	8.08749	5.00934

Tabel 4.6 Total Rugi-Rugi Daya Aktif Setelah Pemasangan DG

Jumlah DG	Total Rugi-Rugi Daya Aktif (KW)	
	Tanpa Perubahan Konfigurasi	Dengan Perubahan Konfigurasi
1 (DG 1)	40.881	25.7161
2	17.0382	13.6521

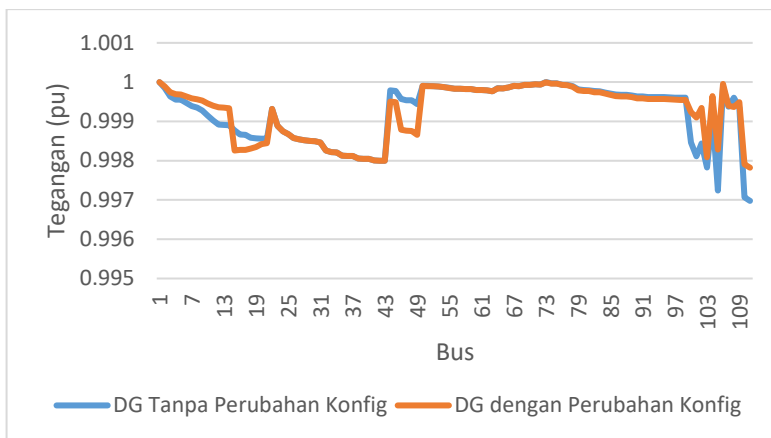
Hasil yang didapat memberikan lokasi DG pada bus 73 yang terletak pada penyulang Basuki Rahmat dan bus 106 yang terletak pada penyulang ometraco seperti yang tertera pada tabel 4.4. Kedua penyulang tersebut memiliki rugi-rugi daya total yang paling besar dari kelima penyulang yang dianalisis sehingga penempatan DG diperlukan pada kedua penyulang tersebut untuk meminimalkan rugi-ruginya. Kapasitas DG pada bus 73 jauh lebih besar karena beban pada penyulang Basuki Rahmat jauh lebih banyak dibanding ometraco sehingga dibutuhkan daya DG yang lebih besar.

Hasil simulasi aliran daya pada tabel 4.6 setelah dipasang DG menunjukkan adanya pengurangan rugi-rugi daya aktif sistem termasuk jika digabungkan dengan perubahan konfigurasi yang dapat mengurangi rugi-rugi daya aktif lebih banyak daripada hanya mengandalkan DG saja dan penggunaan DG lebih dari satu juga menurunkan rugi-rugi daya aktif semakin besar.

Kondisi tegangan pada Gambar 4.2 yang menunjukkan bahwa tegangan ketika terjadi perubahan konfigurasi mengalami peningkatan pada rentang bus 97-109 tetapi mengalami penurunan pada beberapa bus dibanding keadaan tanpa perubahan konfigurasi. Penurunan yang terjadi akibat terjadi perpindahan beban pada bus 16 hingga 20. Peningkatan tegangan yang terjadi pada bus 3 hingga bus 14 juga disebabkan oleh perpindahan beban.

Kondisi tegangan pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa sistem setelah dipasang DG yang tentunya telah mengalami perubahan konfigurasi memiliki nilai tegangan yang lebih tinggi dibanding hanya terjadi perubahan konfigurasi tanpa DG dan keadaan awal. Hal ini

menunjukkan bahwa pemasangan DG bersama dengan perubahan konfigurasi dapat memperbaiki kondisi sistem jika lokasinya tepat.



Gambar 4.2 Perbandingan Tegangan Tanpa dan dengan Perubahan Konfigurasi

Selanjutnya Konfigurasi A akan dibandingkan dengan beberapa konfigurasi lain, yaitu Konfigurasi B (TS 2, TS 3, TS 4 tutup dan SS 4, SS 8, SS 7 terbuka), konfigurasi C(TS 1, TS 2, TS 3, TS 4 ditutup dan SS 2, SS 4, SS 7, SS 8 dibuka), konfigurasi D (TS 2, TS 3, TS 4 tutup dan SS 3, SS 7, SS 8 dibuka) dan konfigurasi E (TS 1, TS 2, TS 3 ditutup dan SS1, SS 7, SS 4 dibuka) untuk mengetahui lokasi dan kapasitas DG yang dapat memberikan efek sekalipun terjadi perubahan konfigurasi yang berbeda.

Pada tabel 4.7 didapatkan beberapa nilai DG lain berdasarkan beberapa konfigurasi dan menunjukkan lokasi DG yang sebagian besar sama dengan kapasitas DG masing-masing. Masing-masing DG kemudian dicoba dipasang pada konfigurasi-konfigurasi lainnya dan didapatkan hasil seperti pada tabel 4.8. Kapasitas DG untuk setiap konfigurasi menggunakan perhitungan matematik dari metode yang digunakan dengan kondisi sistem masing-masing dengan menggunakan persamaan 2.35 dan 2.36 dengan terlebih dahulu menghitung nilai arus yang akan diinjeksikan oeh DG. Nilai arus DG didapat berdasarkan nilai arus yang mengalir pada saluran serta rugi-rugi daya sistem setiap konfigurasi dengan menggunakan persamaan 3.1. Perbedaan lokasi beban

beban pada setiap konfigurasi serta resistansi saluran yang berbeda berpengaruh pada rugi-rugi daya sistem sehingga perbedaan konfigurasi akan mengubah hasil perhitungan kapasitas DG.

Berdasarkan tabel 4.8, DG yang didapat dari percobaan pertama, yakni yang didapat dari konfigurasi A secara keseluruhan memberikan pengaruh paling baik untuk kelima konfigurasi dengan rugi-rugi daya aktif yang relatif paling rendah untuk keseluruhan konfigurasi. Adapun pada Konfigurasi A, B, dan C memiliki kapasitas dan lokasi DG yang sama besar dikarenakan total rugi-rugi daya sistem ketiganya memiliki perbedaan yang sangat kecil sedangkan pada konfigurasi D dan E berbeda cukup banyak daripada konfigurasi A, B, C. Oleh karena itu, DG $8.36756 + j5.18303$ pada bus 73 dan $1.29141 + j0.80609$ pada bus 106 dapat ditetapkan sebagai DG yang akan dipasang dengan pertimbangan terjadi perubahan konfigurasi.

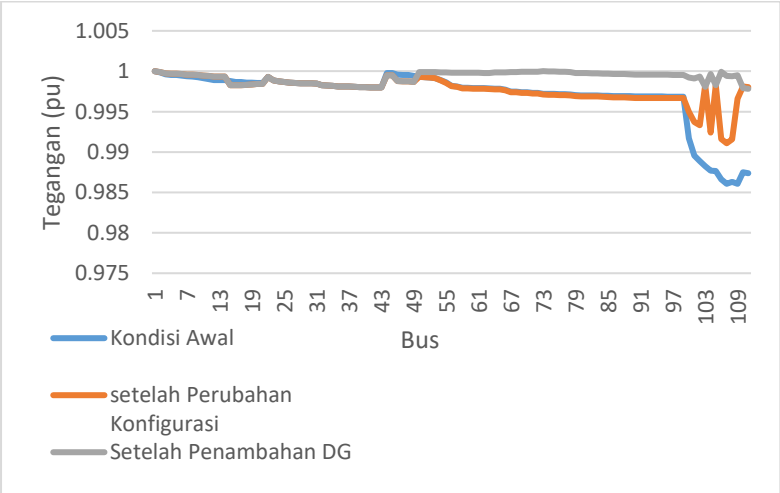
Setelah dilakukan simulasi matlab, lokasi yang didapat kemudian dapat diintegrasikan dengan SCADA pada GIS untuk didapatkan gambaran geografis lokasi kandidat DG yang akan dipasang. Lokasi switch yang ditutup ada pada Jl. Embong Wungu, Jl. Kaliasin Pempa, Jl. Embong Kemiri. Sedangkan switch yang terbuka ada pada Jl. Joko Dolog, Jl. Embong Wungu, dan Jl. Embong Tanjung. Lokasi DG pertama didapat pada penyulang basuki rahmat pada jalan Embong Gayam No. 25 dan DG kedua pada penyulang Ometraco pada jalan Kayun No. 32. Akan tetapi, lokasi kedua DG merupakan lokasi padat penduduk sehingga untuk kondisi saat ini susah untuk diimplementasikan mengingat ukuran DG hingga 8 MW (medium DG) sehingga untuk pengimplementasian simulasi ini lebih cocok untuk perencanaan pembangunan sistem baru di masa depan.

Tabel 4.7 DG dengan Konfigurasi Lain

Konfigurasi	Bus Lokasi	DG (MVA)
Konf. A	Bus 73	$8.36756 + j5.18303$
	Bus 106	$1.29141 + j0.80609$
Konf. B	Bus 73	$8.36756 + j5.18303$
	Bus 106	$1.29137 + j0.80606$
Konf. C	Bus 73	$8.36756 + j5.18303$
	Bus 106	$1.29141 + j0.80609$
Konf. D	Bus 73	$8.36756 + j5.18303$
	Bus 15	$3.73283 + j2.31246$

Tabel 4.7 DG dengan Konfigurasi Lain (Lanjutan)

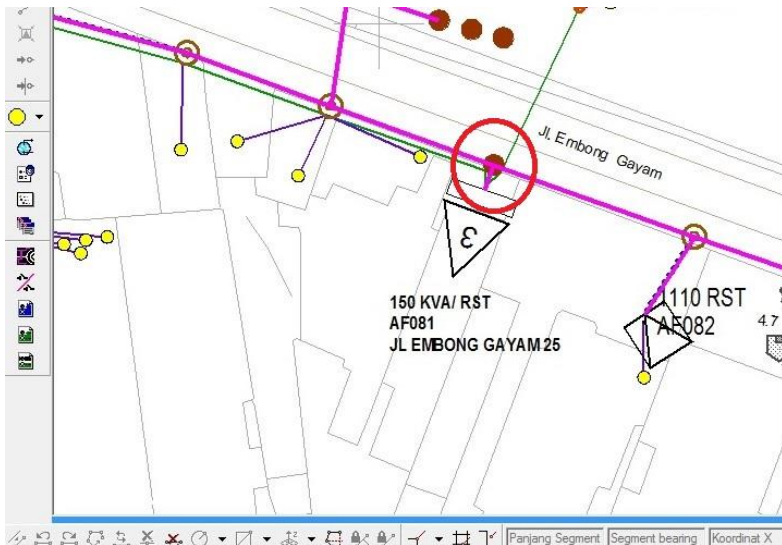
Konfigurasi	Bus Lokasi	DG (MVA)
Konf. E	Bus 73	$8.087498 + j5.00934$
	Bus 106	$1.48539 + j0.92851$



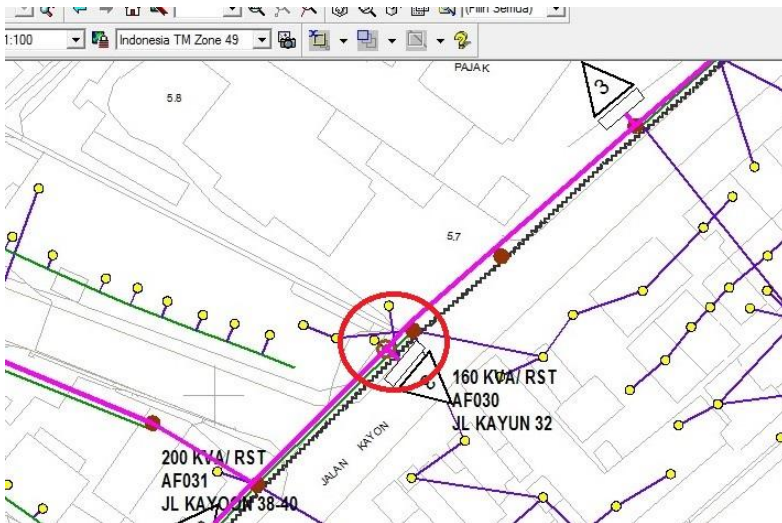
Gambar 4.3 Perbandingan Tegangan Kondisi Awal, Perubahan Konfigurasi dan DG

Tabel 4.8 Perbandingan Rugi-Rugi Daya Aktif dengan Konfigurasi Lain

DG dengan Konfigurasi	Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)				
	Konf A	Konf B	Konf C	Konf D	Konf E
DG Konf. A	13.6521	15.325	13.7554	21.9199	20.685
DG Konf. B	13.6521	15.325	13.7554	21.9199	21.6012
DG Konf. C	13.6521	15.325	13.7554	21.9199	20.6852
DG Konf. D	32.4325	23.3495	27.8281	19.0248	29.4402
DG Konf. E	15.039	16.7121	15.1423	23.3071	21.1579



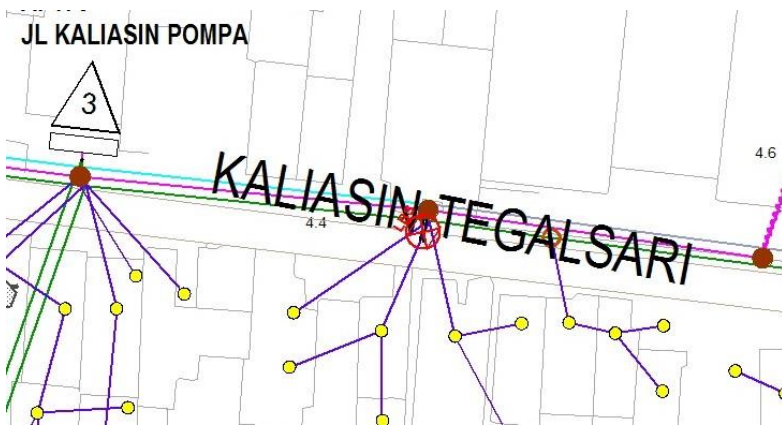
Gambar 4.4 Lokasi geografis pemasangan DG pertama



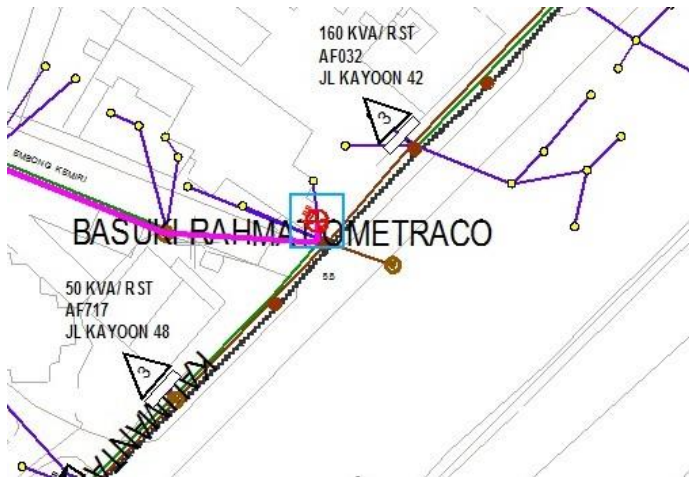
Gambar 4.5 Lokasi geografis pemasangan DG kedua



Gambar 4.6 Lokasi Switch TS3



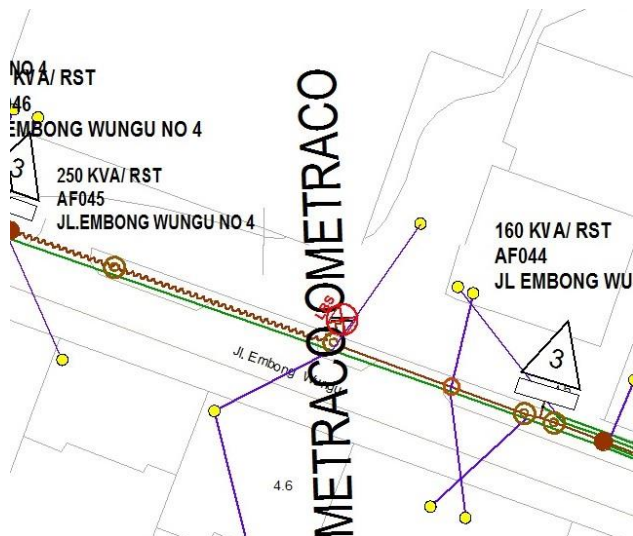
Gambar 4.7 Lokasi Switch TS1



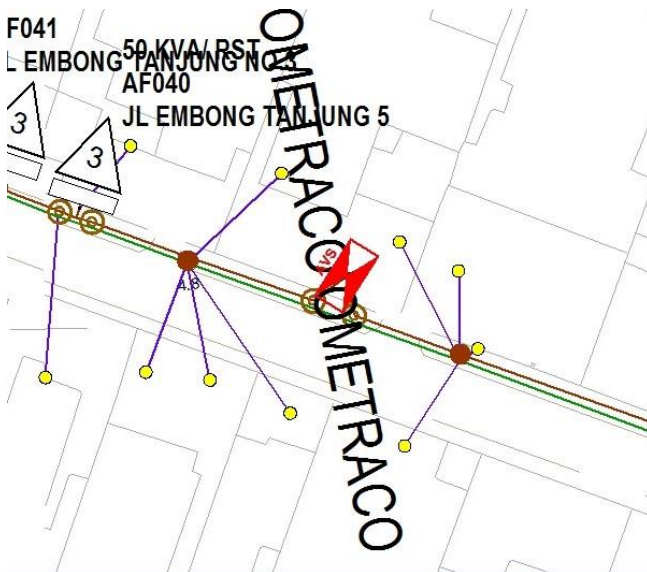
Gambar 4.8 Lokasi Switch TS4



Gambar 4.9 Lokasi Switch SS2



Gambar 4.10 Lokasi Switch SS7



Gambar 4.11 Lokasi Switch SS8

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil yang didapat dan dibahas pada bab sebelumnya dapat memberikan beberapa kesimpulan:

1. Perubahan konfigurasi jaringan distribusi dapat mengurangi rugi-rugi daya pada sistem dari 68.77 kW menjadi 50.07 kW (Konfigurasi A)
2. Pemasangan DG (dua buah) pada sistem tanpa adanya perubahan konfigurasi menyebabkan penurunan rugi-rugi daya menjadi 17.0382 kW
3. Pemasangan DG (dua buah) pada sistem yang telah mengalami perubahan konfigurasi berhasil menurunkan rugi-rugi daya menjadi 13.6521 kW dari kondisi awal 68.77 kW (Konfigurasi A)
4. Melalui percobaan dalam menentukan lokasi dan kapasitas dengan membandingkan beberapa konfigurasi jaringan, kapasitas DG dan lokasi paling optimum adalah $8.36756 + j5.18303$ MVA pada bus 73 dan $1.29141 + j0.80609$ MVA pada bus 106 dengan losses 13.6521 kW
5. Berdasarkan hasil yang didapat pada GIS, lokasi pemasangan DG pada Jl. Embong Gayam dan Jl. Kayun susah untuk diimplementasikan pada kondisi saat ini dikarenakan kondisi lingkungan yang merupakan kawasan padat penduduk dan padat bangunan sehingga penggunaan metode penentuan DG lebih cocok untuk perencanaan sistem baru.

5.2 Saran

Terdapat beberapa saran untuk perbaikan maupun pengembangan dari tugas akhir ini:

1. Pertimbangan akan perubahan beban sistem perlu dibahas untuk perencanaan dalam penentuan kapasitas dan lokasi DG di masa depan.
2. Pertimbangan biaya baik biaya investasi maupun biaya pembangkitan untuk setiap DG sehingga perencanaan ke depannya tidak hanya mendapat DG optimum yang dapat menurunkan losses sistem tetapi didapatkan juga kriteria DG yang ekonomis.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. B. Ioana Pisica, Mircea Eremia, "Optimal Distributed Generation Location and Sizing using Genetic Algorithms " presented at the 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems, 2009.
- [2] D. K. K. Sevy Naik Gopiya Naik, Mahendra Pal Sharma, "Analytical Approach for Optimal Siting and Sizing of Distributed Generation in Radial Distribution Network " *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 9, pp. 209-220, 2015.
- [3] H. H. Z. a. V. K. S. S. Al Kaabi, "Planning Active Distribution Networks Considering Multi-DG Configurations " *IEEE TRANSACTIONSONPOWERSYSTEMS*, vol. 29, pp. 785-793, 2014.
- [4] F. F. W. Mesut E. Baran, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, 1989.
- [5] J. M. Salem Elsaiah, "A Method for Minimum Loss Reconfiguration of Radial Distribution Systems," *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, pp. 1-5, 2015.
- [6] D. P. M. a. J. M. Ramirez, "A minimal spanning tree algorithm for distribution networks configuration," *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1-7, 2012
- [7] S. V. L. N. Rayapudi Srinivasa Rao, Manyala Ramalinga Raju, and A. Srinivasa Rao, "Optimal Network Reconfiguration of Large-Scale Distribution System Using Harmony Search Algorithm " *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, vol. 26, 2011
- [8] H. X. A. X. SUN, "Distributed Generation Locating and Sizing in Active Distribution Network Considering Network Reconfiguration," *IEEE Access*, vol. 5, 2017.

- [9] T. Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*. CRC Publisher, 2008.
- [10] H. Saadat, "Power System Analysis," United States: McGraw-Hill Companies, 1999, pp. 232-235.
- [11] G. r. A. Thomas Ackermann, Lennart So"der "Distributed generation: a definition," *Electric Power Systems Research* 2001.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Beban

Bus	Beban	
	P (MW)	Q(MVAR)
1	0	0
2	0.18	0.11
3	0.2	0.135
4	0.12	0.09
5	0.1	0.06
6	0.04	0.028
7	0.04	0.03
8	0.2	0.1
9	0.06	0.025
10	0.12	0.07
11	0.046	0.012
12	0.06	0.04
13	0.23	0.1
14	0.18	0.13
15	0.06	0.04
16	0.09	0.06
17	0.02	0.01
18	0.12	0.09
19	0.09	0.06
20	0.184	0.13
21	0.02	0.01
22	0.04	0.02
23	0.09	0.045
24	0.12	0.09
25	0.13	0.06
26	0.06	0.04
27	0.16	0.09
28	0.2	0.13
29	0.15	0.075
30	0.12	0.07
31	0.04	0.02
32	0.2	0.1

Bus	Beban	
	P (MW)	Q(MVAR)
33	0.06	0.04
34	0.16	0.06
35	0.2	0.15
36	0.06	0.02
37	0.16	0.09
38	0.09	0.07
39	0.18	0.09
40	0.3	0.15
41	0.12	0.09
42	0.19	0.11
43	0.13	0.09
44	0.2	0.15
45	0.15	0.09
46	0.12	0.08
47	0.09	0.04
48	0.09	0.04
49	0.345	0.102
50	0.17	0.105
51	0.136	0.084
52	0.213	0.132
53	0.136	0.084
54	0.085	0.053
55	0.17	0.105
56	0.042	0.026
57	0.213	0.132
58	0	0
59	0.085	0.053
60	0	0
61	0.064	0.04
62	0.136	0.084
63	0.944	0.585
64	0	0
65	0.085	0.053
66	0.085	0.053
67	0	0

Bus	Beban	
	P (MW)	Q(MVAR)
68	0.425	0.263
69	0	0
70	0.17	0.105
71	0	0
72	0.587	0.363
73	0	0
74	1.853	1.148
75	0.128	0.079
76	0	0
77	0.944	0.585
78	0.068	0.042
79	0.064	0.04
80	0	0
81	0.213	0.132
82	0	0
83	0.085	0.053
84	0	0
85	0.587	0.363
86	0	0
87	0.349	0.216
88	0.128	0.079
89	0.136	0.084
90	0	0
91	0.17	0.105
92	0	0
93	0.293	0.182
94	0	0
95	0.136	0.084
96	0.136	0.084
97	0.136	0.084
98	0.128	0.079
99	0.085	0.053
100	0.0807	0.0197
101	0.0225	0.0046
102	0.599	0.0197

Bus	Beban	
	P (MW)	Q(MVAR)
103	0.026	0.0043
104	0.0411	0.0077
105	0.57	0.108
106	0.354	0.072
107	0.686	0.185
108	0.0497	0.0092
109	0.3287	0.0948
110	0.121	0.0203
111	0.1209	0.0257

Lampiran 2 Data Saluran

Bus dari	Bus ke	Impedansi (ohm)	
		R	X
1	2	0.02206	0.01082
2	3	0.0327	0.01604
3	4	0.01337	0.00656
4	5	0.0073	0.00358
4	6	0.01621	0.00795
6	7	0.01681	0.00824
7	8	0.00885	0.00434
8	9	0.01712	0.0084
9	10	0.03277	0.0161
10	11	0.03767	0.01357
11	12	0.03146	0.01053
12	13	0.01305	0.0064
12	14	0.03479	0.01809
12	15	0.07874	0.03372
15	16	0.05927	0.02907
16	17	0.00479	0.00235
17	18	0.05515	0.02705
18	19	0.01191	0.00584
19	20	0.02056	0.0101
20	21	0.00565	0.00277
1	22	0.07198	0.03531
22	23	0.04615	0.02264

Bus dari	Bus ke	Impedansi (ohm)	
		R	X
23	24	0.01487	0.0073
24	25	0.00829	0.00406
25	26	0.01231	0.00604
26	27	0.01636	0.00803
27	28	0.01631	0.00803
28	29	0.02068	0.01014
28	30	0.05505	0.0221
26	31	0.0187	0.00917
31	32	0.03434	0.01685
32	33	0.00717	0.00352
33	34	0.02751	0.0135
33	35	0.02017	0.0099
35	36	0.0212	0.0104
35	37	0.01161	0.0057
35	38	0.02103	0.01032
38	39	0.01224	0.006
38	40	0.01168	0.00573
38	41	0.03203	0.01571
41	42	0.01066	0.00523
42	43	0.00687	0.00324
1	44	0.06731	0.03302
44	45	0.02754	0.01351
44	46	0.10329	0.08667
46	47	0.05685	0.0279
47	48	0.00821	0.0043
46	49	0.1325	0.065
1	50	0.021476	0.010738
50	51	0.00203944	0.00101972
51	52	0.00135096	0.00067548
52	53	0.00284336	0.00142168
53	54	0.0083876	0.0041938
54	55	0.010741328	0.005370664
55	56	0.014902368	0.007451184
56	57	0.00255528	0.00127764
57	58	0.00680992	0.00340496

Bus dari	Bus ke	Impedansi (ohm)	
		R	X
58	59	0.0026728	0.0013364
58	60	0.00726648	0.00363324
60	61	0.000841984	0.000420992
60	62	0.00259064	0.00129532
62	63	0.007150832	0.003575416
58	64	0.00489424	0.00244712
64	65	0.004473144	0.002236572
64	66	0.005033912	0.002516956
66	67	0.00985504	0.00492752
67	68	0.00367848	0.00183924
67	69	0.00432744	0.00216372
69	70	0.001740544	0.000870272
69	71	0.00326144	0.00163072
71	72	0.00513136	0.00256568
71	73	0.00628264	0.00314132
73	74	0.0053508	0.0026754
73	75	0.002650024	0.001325012
75	76	0.0028028	0.0014014
76	77	0.00130208	0.00065104
76	78	0.00442156	0.00221078
78	79	0.00940576	0.00470288
79	80	0.00188448	0.00094224
80	81	0.002471976	0.001235988
80	82	0.00330512	0.00165256
82	83	0.002488928	0.001244464
82	84	0.00452504	0.00226252
84	85	0.00353704	0.00176852
85	86	0.00529464	0.00264732
86	87	0.002961088	0.001480544
86	88	0.00677976	0.00338988
86	89	0.0046488	0.0023244
89	90	0.00786968	0.00393484
90	91	0.00129688	0.00064844
90	92	0.00356096	0.00178048
92	93	0.00260936	0.00130468

Bus dari	Bus ke	Impedansi (ohm)	
		R	X
92	94	0.000728	0.000364
94	95	0.0004264	0.0002132
94	96	0.0053976	0.0026988
96	97	0.0073996	0.0036998
97	98	0.00452816	0.00226408
98	99	0.00378144	0.00189072
1	100	1	0.491
100	101	0.265	0.13
101	102	0.048	0.234
102	103	0.265	0.13
102	104	0.286	0.14
103	105	0.265	0.13
104	106	0.265	0.13
106	107	0.265	0.13
106	108	0.265	0.13
108	109	0.265	0.13
105	110	0.265	0.13
110	111	0.265	0.13

Lampiran 3 Kondisi Sistem (Konfigurasi A) Tanpa DG

Kondisi sistem setelah perubahan konfigurasi (Konfigurasi A)

Bus	Tegangan (pu)	Bus Kirim	Bus Terima	Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)
1	1	1	2	0.184839256
2	0.999887878	2	3	0.214487717
3	0.999740803	3	4	0.063560547
4	0.999689567	4	5	0.000248355
5	0.999687204	4	6	0.050258677
6	0.999639353	6	7	0.047674665
7	0.999589545	7	8	0.022822709
8	0.999564531	8	9	0.026849233
9	0.999526802	9	10	0.043343708
10	0.999460488	10	11	0.032606247
11	0.999402289	11	12	0.023137668

Bus	Tegangan (pu)	Bus Kirim	Bus Terima	Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)
12	0.999358187	12	13	0.002054787
13	0.999349077	12	14	0.004293562
14	0.999336638	1	22	2.103891281
15	0.998262173	22	23	1.313890879
16	0.998273991	23	24	0.398494569
17	0.998276379	24	25	0.202391301
18	0.99830731	25	26	0.273693163
19	0.998346193	26	27	0.021746593
20	0.998419484	27	28	0.012126965
21	0.998443124	28	29	0.001458415
22	0.999316108	28	30	0.002664171
23	0.998883378	26	31	0.222368547
24	0.998748098	31	32	0.391774956
25	0.998676124	32	33	0.065572746
26	0.998574119	33	34	0.002015456
27	0.998540975	33	35	0.140956071
28	0.998516253	35	36	0.000212799
29	0.998506583	35	37	0.000981832
30	0.99849584	35	38	0.072845895
31	0.998460787	38	39	0.001244148
32	0.998256923	38	40	0.003297878
33	0.998218825	38	41	0.022326
34	0.998205773	41	42	0.003810205
35	0.99812525	42	43	0.000431101
36	0.998121544	1	44	1.175496098
37	0.998119313	44	45	0.002108953
38	0.998056534	44	46	1.280987053
39	0.998049663	46	47	0.00552815
40	0.998045604	47	48	0.000199588
41	0.998009818	46	49	0.042988368
42	0.997998653	46	21	0.474289792
43	0.997995685	21	20	0.000773195
44	0.999505058	20	19	0.000390538
45	0.999491684	19	18	0.005672484

Bus	Tegangan (pu)	Bus Kirim	Bus Terima	Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)
46	0.998792423	18	17	0.041848699
47	0.998761222	17	16	0.085534711
48	0.998758942	16	15	0.032117833
49	0.998661391	18	105	0.021290049
50	0.999318065	105	103	0.000461703
51	0.999254442	105	110	0.040324695
52	0.999212898	110	111	0.010161486
53	0.999127446	1	50	6.976568657
54	0.998879107	50	51	0.639483042
55	0.998564078	51	52	0.411589805
56	0.998135314	52	53	0.827361304
57	0.998062147	53	54	2.368776791
58	0.997871912	54	55	2.976533547
59	0.997871166	55	56	3.974123168
60	0.997844631	56	57	0.674920698
61	0.997844454	57	58	1.711895477
62	0.99783545	58	59	0.000067334
63	0.997813296	58	60	0.033050661
64	0.997754935	60	61	0.000012042
65	0.997753685	60	62	0.010498787
66	0.997636025	62	63	0.022145639
67	0.997405987	58	64	0.90042163
68	0.997400856	64	65	0.000112715
69	0.997311011	64	66	0.904569833
70	0.99731004	66	67	1.729209881
71	0.99724125	67	68	0.002309144
72	0.997231364	67	69	0.671200404
73	0.997118971	69	70	0.000174666
74	0.997086411	69	71	0.480454719
75	0.99708352	71	72	0.006144632
76	0.997047202	71	73	0.766165052
77	0.997043165	73	74	0.063932996
78	0.997003617	73	75	0.152538263
79	0.996913001	75	76	0.151349075

Bus	Tegangan (pu)	Bus Kirim	Bus Terima	Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)
80	0.996895242	76	77	0.004038685
81	0.996893513	76	78	0.138053027
82	0.996866409	78	79	0.280505166
83	0.996865713	79	80	0.053764752
84	0.996828199	80	81	0.000390479
85	0.996798331	80	82	0.080790726
86	0.996763827	82	83	0.000062828
87	0.996760433	82	84	0.103619669
88	0.996760979	84	85	0.080995287
89	0.996740813	85	86	0.072139302
90	0.996705368	86	87	0.001255159
91	0.996704644	86	88	0.000385976
92	0.996691317	86	89	0.036510388
93	0.996688804	89	90	0.051142371
94	0.996689146	90	91	0.000130302
95	0.996688553	90	92	0.017753586
96	0.996680548	92	93	0.000781274
97	0.996672066	92	94	0.00207259
98	0.996668897	94	95	0.000266066
99	0.996667839	94	96	0.004417935
100	0.994984534	96	97	0.003137145
101	0.993716049	97	98	0.000715602
102	0.993332792	98	99	0.000095493
103	0.998261815	95	109	0.023866045
104	0.992420414	1	100	8.789546987
105	0.998280469	100	101	2.126877788
106	0.991604828	101	102	0.37537683
107	0.991085595	102	104	0.984946463
108	0.991568607	104	106	0.848367396
109	0.996611408	106	107	0.340487339
110	0.998104919	106	108	0.001721414
111	0.998016294			
			Total	50.07436953

Lampiran 4 Kondisi Sistem (Konfigurasi A) dengan DG

Kondisi sistem setelah pemasangan DG dan perubahan konfigurasi (Konfigurasi A)

Bus	Tegangan (pu)	Bus Kirim	Bus Terima	Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)
1	1	1	2	0.184839256
2	0.999888	2	3	0.214487717
3	0.999741	3	4	0.063560547
4	0.99969	4	5	0.000248355
5	0.999687	4	6	0.050258677
6	0.999639	6	7	0.047674665
7	0.99959	7	8	0.022822709
8	0.999565	8	9	0.026849233
9	0.999527	9	10	0.043343708
10	0.99946	10	11	0.032606247
11	0.999402	11	12	0.023137668
12	0.999358	12	13	0.002054787
13	0.999349	12	14	0.004293562
14	0.999337	1	22	2.103891281
15	0.999316	22	23	1.313890879
16	0.998883	23	24	0.398494569
17	0.998748	24	25	0.202391301
18	0.998676	25	26	0.273693163
19	0.998574	26	27	0.021746593
20	0.998541	27	28	0.012126965
21	0.998516	28	29	0.001458415
22	0.998507	28	30	0.002664171
23	0.998496	26	31	0.222368547
24	0.998461	31	32	0.391774956
25	0.998257	32	33	0.065572746
26	0.998219	33	34	0.002015456
27	0.998206	33	35	0.140956071
28	0.998125	35	36	0.000212799
29	0.998122	35	37	0.000981832
30	0.998119	35	38	0.072845895

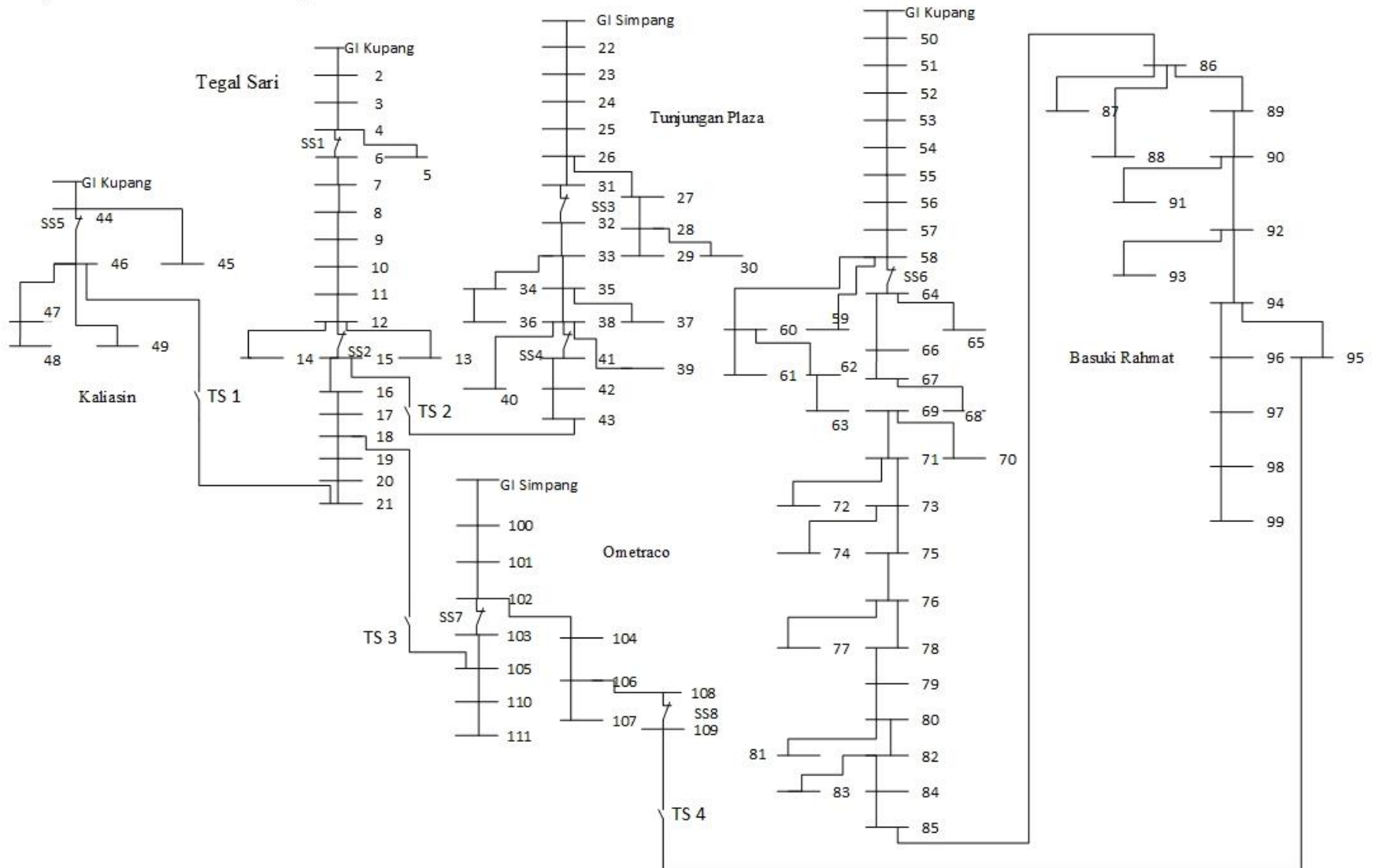
Bus	Tegangan (pu)	Bus Kirim	Bus Terima	Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)
31	0.998057	38	39	0.001244148
32	0.99805	38	40	0.003297878
33	0.998046	38	41	0.022326
34	0.99801	41	42	0.003810205
35	0.997999	42	43	0.000431101
36	0.997996	1	44	1.175544762
37	0.999505	44	45	0.002108954
38	0.999492	44	46	1.281049843
39	0.998792	46	47	0.005528151
40	0.998761	47	48	0.000199588
41	0.998759	46	49	0.042988371
42	0.998661	46	21	0.474323608
43	0.998443	21	20	0.032120157
44	0.998419	20	19	0.085541912
45	0.998346	19	18	0.04185252
46	0.998307	18	17	0.005672485
47	0.998276	17	16	0.000390538
48	0.998274	16	15	0.000773195
49	0.998262	18	105	0.021292678
50	0.99828	105	103	0.049432693
51	0.998086	105	110	0.040340403
52	0.997911	110	111	0.010165445
53	0.997822	1	50	0.125762013
54	0.999908	50	51	0.009033353
55	0.999901	51	52	0.00463622
56	0.998135314	52	53	0.999896
57	0.998062147	53	54	0.999889
58	0.997871912	54	55	0.999871
59	0.997871166	55	56	0.999851
60	0.997844631	56	57	0.999832
61	0.997844454	57	58	0.999829
62	0.99783545	58	59	0.999826
63	0.997813296	58	60	0.999825
64	0.997754935	60	61	0.999798

Bus	Tegangan (pu)	Bus Kirim	Bus Terima	Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)
65	0.997753685	60	62	0.999798
66	0.997636025	62	63	0.999789
67	0.997405987	58	64	0.999767
68	0.997400856	64	65	0.999843
69	0.997311011	64	66	0.999842
70	0.99731004	66	67	0.999862
71	0.99724125	67	68	0.999903
72	0.997231364	67	69	0.999898
73	0.997118971	69	70	0.999927
74	0.997086411	69	71	0.999926
75	0.99708352	71	72	0.999947
76	0.997047202	71	73	0.999937
77	0.997043165	73	74	0.999997
78	0.997003617	73	75	0.999964
79	0.996913001	75	76	0.999962
80	0.996895242	76	77	0.999925
81	0.996893513	76	78	0.999921
82	0.996866409	78	79	0.999882
83	0.996865713	79	80	0.999792
84	0.996828199	80	81	0.999774
85	0.996798331	80	82	0.999772
86	0.996763827	82	83	0.999745
87	0.996760433	82	84	0.999744
88	0.996760979	84	85	0.999707
89	0.996740813	85	86	0.999677
90	0.999643	86	87	0.00124794
91	0.999639	86	88	0.000383756
92	0.99964	86	89	0.036300357
93	0.99962	89	90	0.050848163
94	0.999584	90	91	0.000129553
95	0.999584	90	92	0.017651453
96	0.99957	92	93	0.00077678
97	0.999568	92	94	0.002060667
98	0.999568	94	95	0.000264535

Bus	Tegangan (pu)	Bus Kirim	Bus Terima	Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)
99	0.999568	94	96	0.00439252
100	0.99956	96	97	0.003119098
101	0.999551	97	98	0.000711485
102	0.999548	98	99	9.49434E-05
103	0.999547	95	109	0.023728735
104	0.999491	1	100	1.332373283
105	0.999239	100	101	0.312271452
106	0.999098	101	102	0.054688691
107	0.999345	102	104	0.220742341
108	0.999645	104	106	0.21984331
109	0.999954	106	107	0.384026569
110	0.999403	106	108	0.001694653
111	0.999367			
			Total	13.65207358

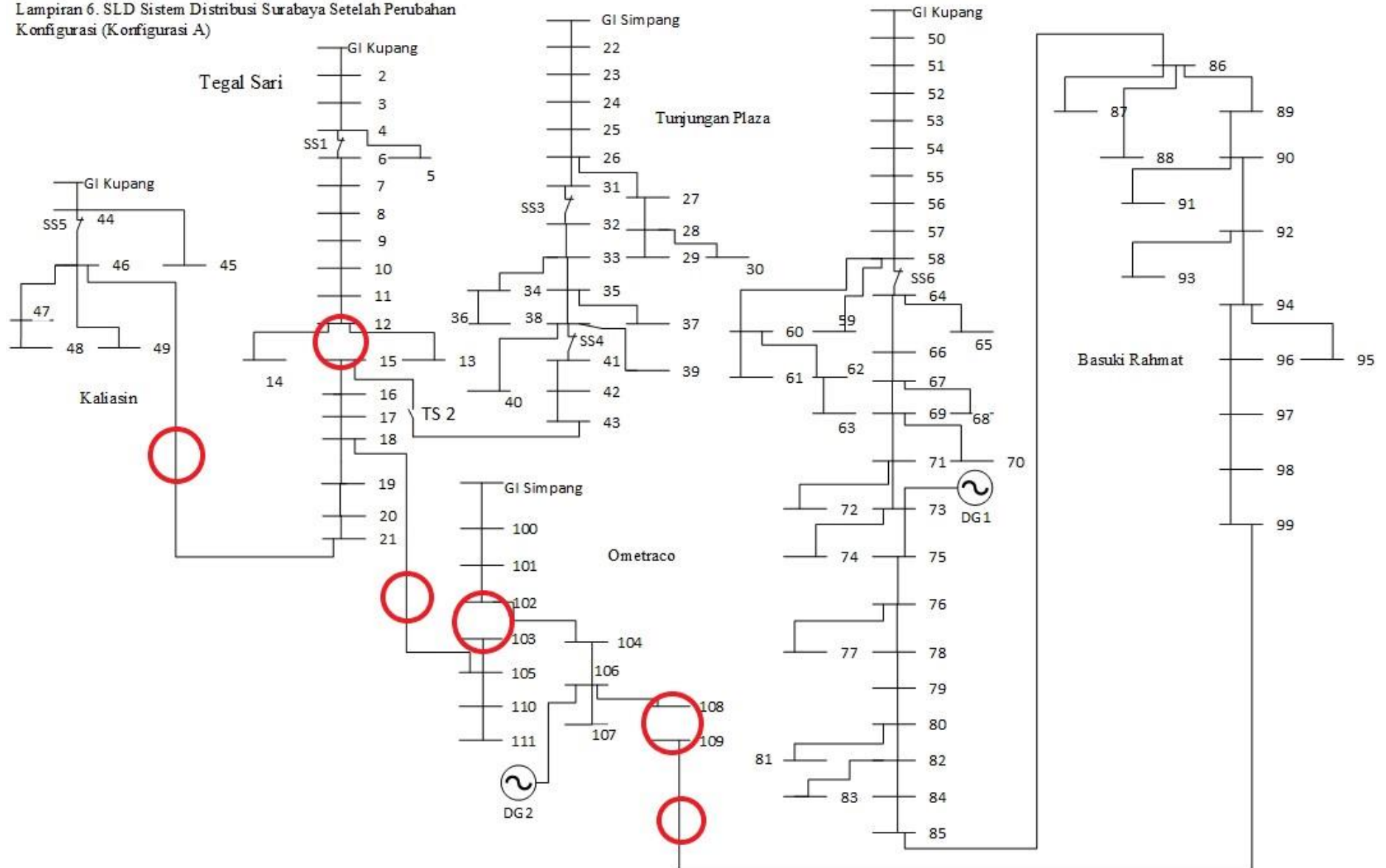
Lampiran 5 SLD Sistem Distribusi Surabaya

Lampiran 5. SLD Sistem Distribusi Surabaya



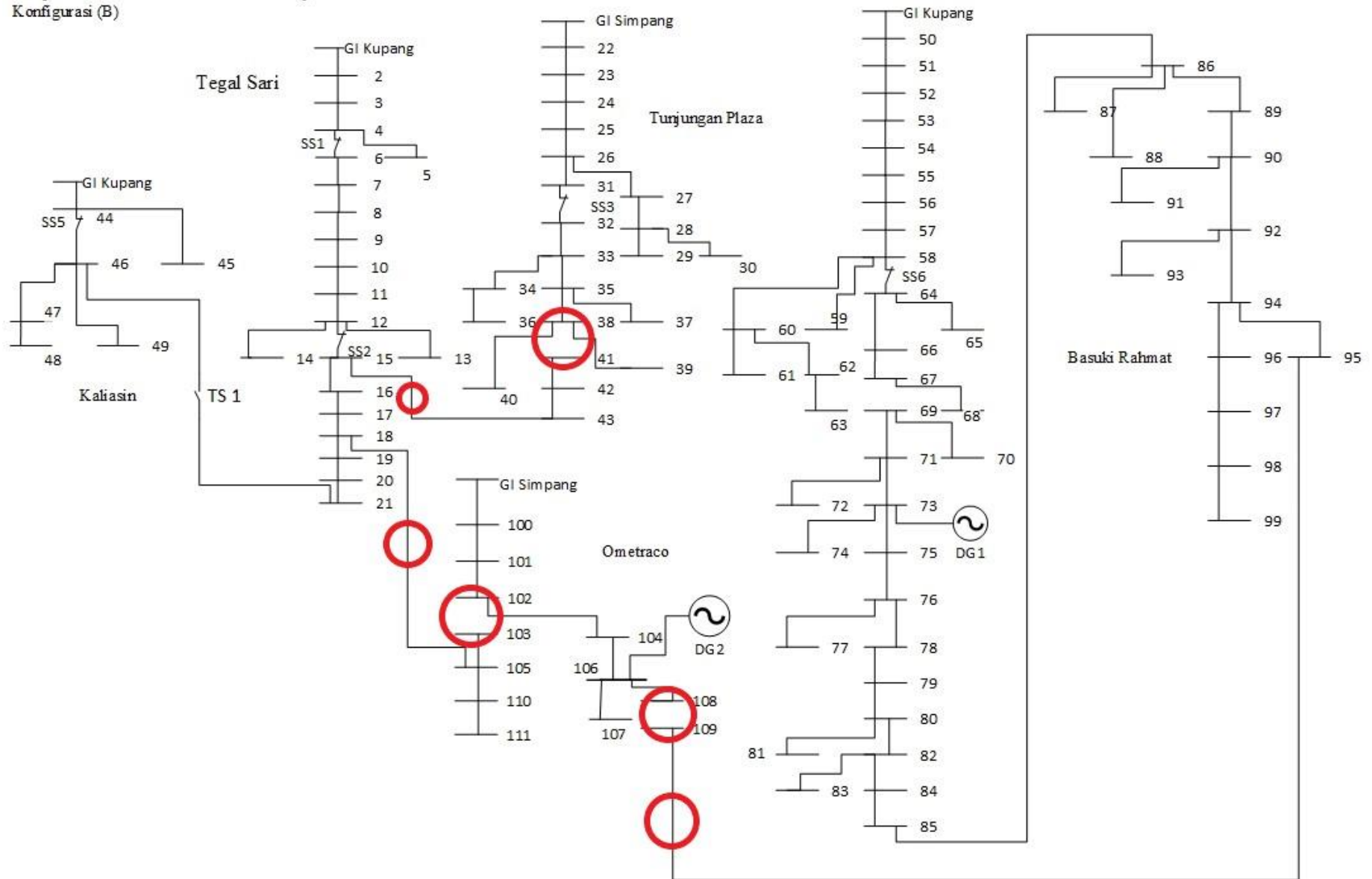
Lampiran 6 Konfigurasi A

Lampiran 6. SLD Sistem Distribusi Surabaya Setelah Perubahan Konfigurasi (Konfigurasi A)



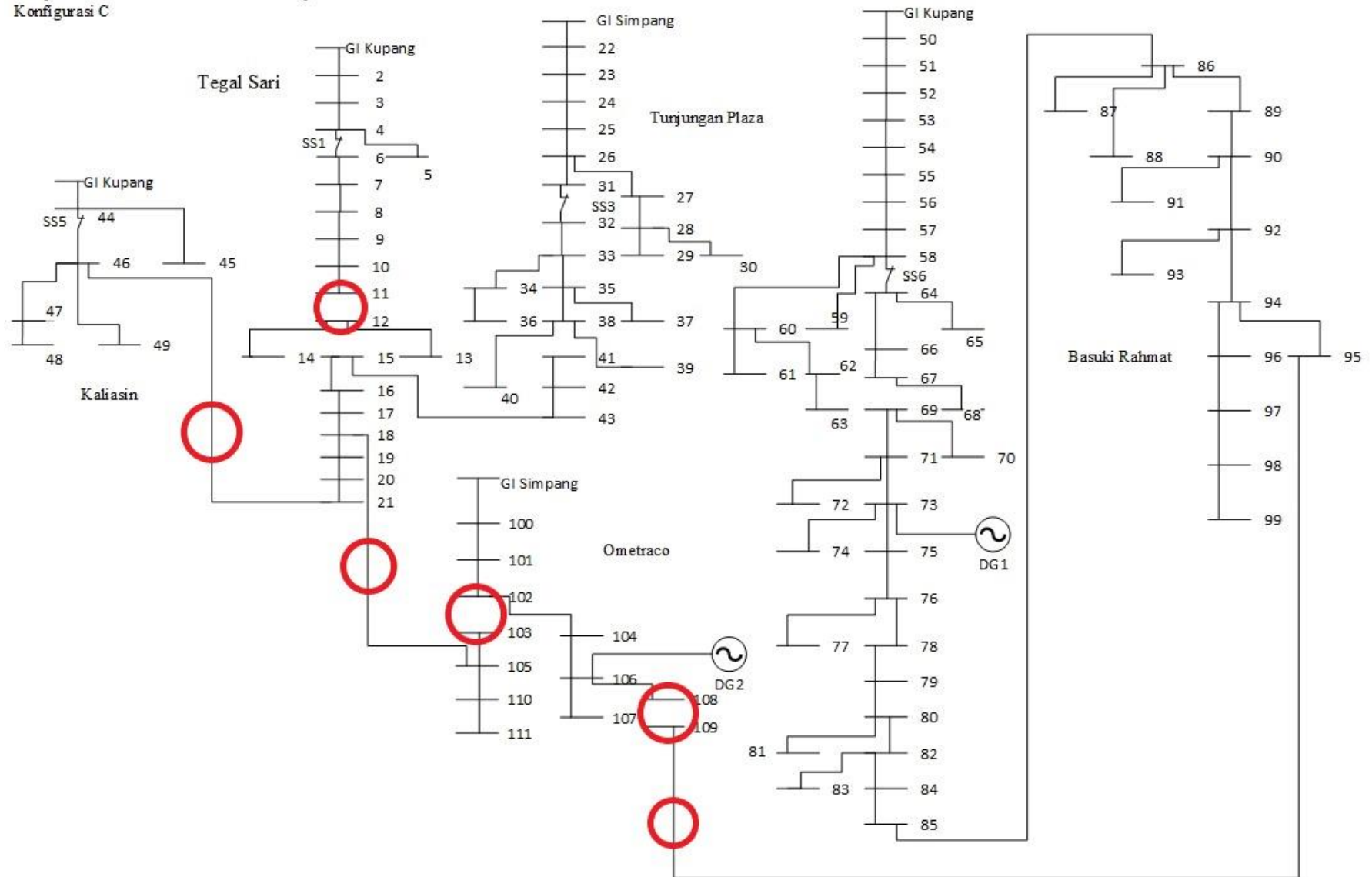
Lampiran 7 Konfigurasi B

Lampiran 7. SLD Sistem Distribusi Surabaya Setelah Perubahan Konfigurasi (B)



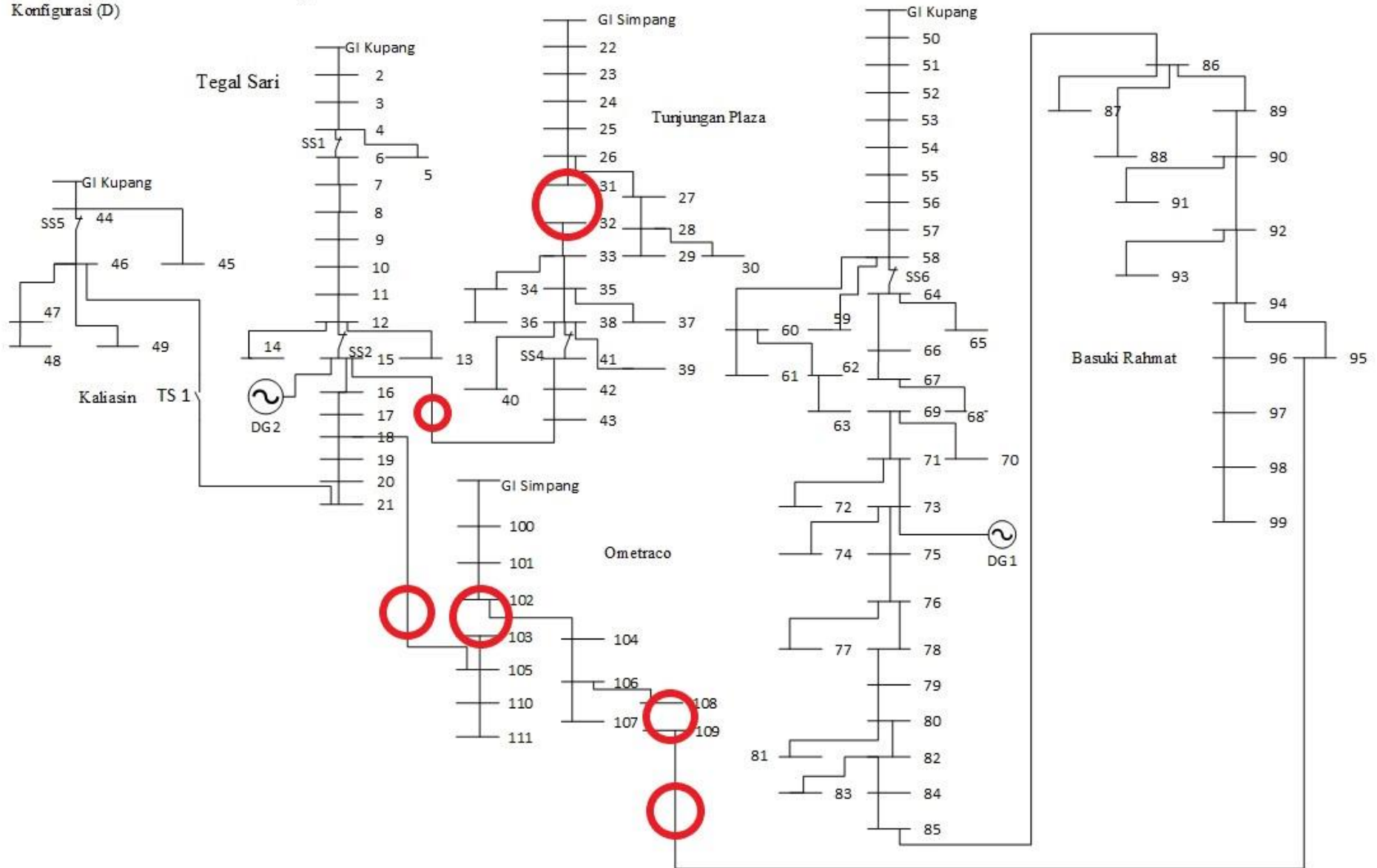
Lampiran 8 Konfigurasi C

Lampiran 8. SLD Sistem Distribusi Surabaya Setelah Perubahan Konfigurasi C



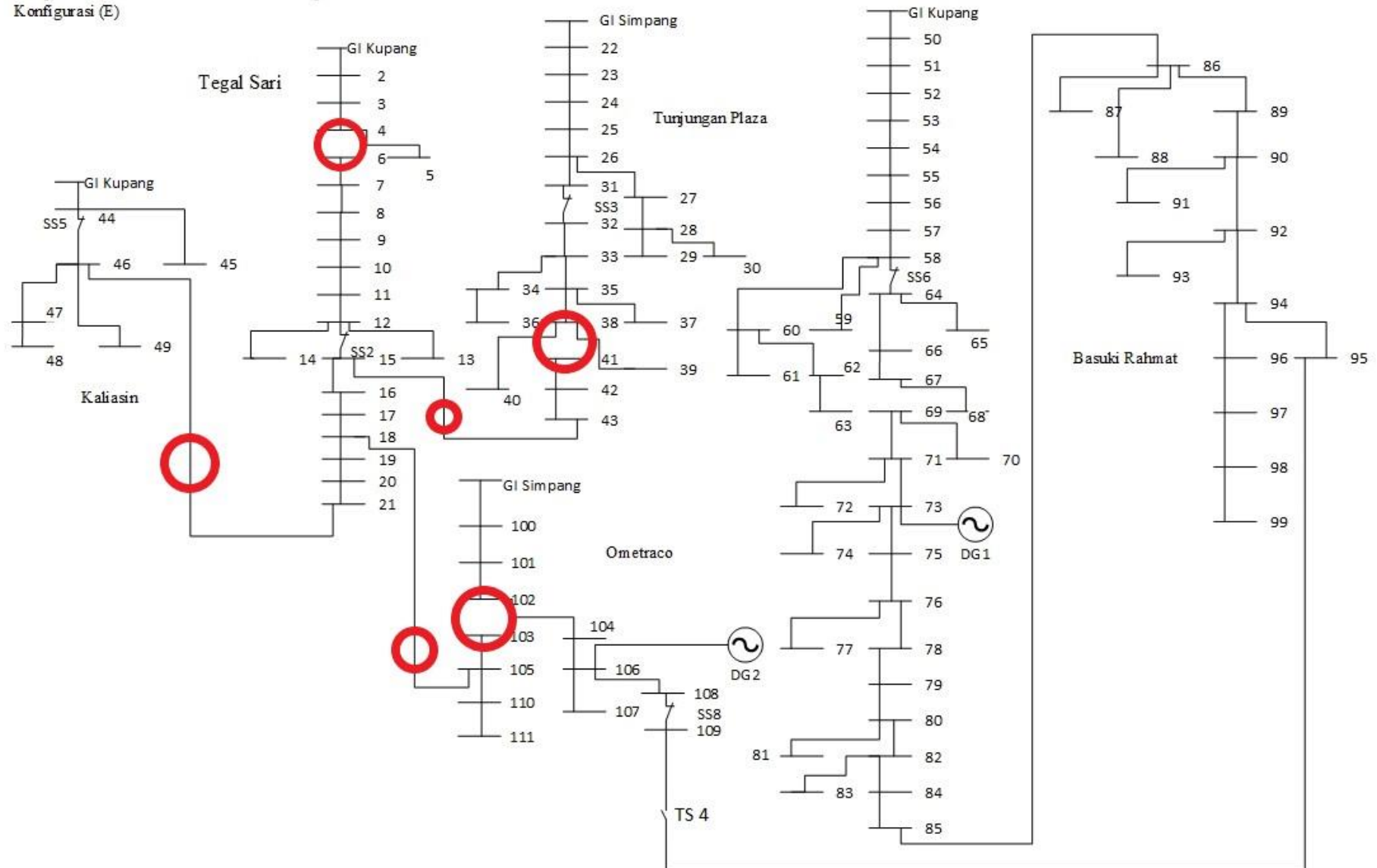
Lampiran 9 Konfigurasi D

Lampiran 9. SLD Sistem Distribusi Surabaya Setelah Perubahan Konfigurasi (D)



Lampiran 10 Konfigurasi E

Lampiran 10. SLD Sistem Distribusi Surabaya Setelah Perubahan Konfigurasi (E)



RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis bernama lengkap Maulia Hutabarat, merupakan anak kedua dari dua bersaudara dan lahir pada 12 Juli 1996 di Kota. Mengawali riwayat pendidikannya pada jenjang SD di SDK Penabur Lampung yang lulus pada tahun 2008 dan dilanjutkan pada jenjang SMP di SMP 5 Peanbur Jakarta yang lulus pada tahun 20011. Sebelum menjadi mahasiswa, penulis melanjutkan Pendidikan jenjang SMA dan lulus pada tahun 2014 di SMAK 7 Penabur Jakarta.

Sejak tahun 2014 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Selama menempuh pendidikan di ITS, penulis aktif di organisasi kerohanian mahasiswa Kristen, PMK ITS Penulis dapat dihubungi melalui email hutabaratmaulia@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)